

**PRÁCTICAS PARA EL USO DE LA BIOMASA EN DIFERENTES PAÍSES DE  
AMÉRICA, EUROPA Y ASIA**

WENDY PAOLA REYES CALLE



UNIVERSIDAD DE LA COSTA

FACULTAD DE INGENIERIA

INGENIERIA ELECTRICA

BARRANQUILLA

2018

**PRÁCTICAS PARA EL USO DE LA BIOMASA EN DIFERENTES PAÍSES DE  
AMÉRICA, EUROPA Y ASIA**

**WENDY PAOLA REYES CALLE**

Proyecto de grado presentado para obtener el título de Ingeniero Eléctrico

Tutor del proyecto:

**MSc. JOHN GRIMALDO GUERRERO**

Cotutor:

**MSc. PEDRO PACHECO TORRES**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**BARRANQUILLA**

**2018**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado

---

Jurado

Barranquilla, abril 09 de 2018

**Dedicatoria**

Dedicado especialmente a mi madre Rosalba quien me ha acompañado en cada una de mis aventuras y decisiones, por ser quien me ha animado a seguir en este camino de cinco años y quien me ha mostrado su amor incondicional en los momentos más difíciles. A mi familia y a Jan quienes constituyen la fuente de energía para seguir adelante y creciendo como profesional. A todos muchas gracias por creer en mí.

*Wendy Paola Reyes Calle.*

**Agradecimientos**

Agradezco a mi tutor John William Grimaldo por toda su dedicación y direccionamiento en todo el desarrollo del proyecto, por brindarme su apoyo y conocimiento en cada una de las etapas, por toda su ayuda y revisión para que el proyecto culminara de la mejor manera.

Agradezco al Ingeniero Pedro Pacheco por toda su asesoría en temas técnicos y de vital importancia para el desarrollo del proyecto.

Agradezco a la vida por poder alcanzar un logro tan importante para mi carrera profesional y mi vida.

*Wendy Paola Reyes Calle.*

**Resumen**

Cada día la población está realizando diferentes tipos de acciones que sean lo más sostenibles y amigables posibles para el medio ambiente. La sociedad busca alternativas y soluciones a los problemas de las necesidades cotidianas y futuras, el uso de la energía es una de ellas y su demanda va en aumento año tras año. Dentro de las alternativas esta la generación de energía eléctrica con energías limpias, buscando la disminución del consumo de combustibles fósiles o materiales que afecten los diferentes ecosistemas.

Esta investigación consiste en identificar países de América, Europa y Asia que aprovechan la biomasa, definir la capacidad instalada y material energético más usados en los países seleccionados y determinar prácticas que emplearon los países seleccionados para promover el uso de biomasa y diversificación de su matriz energética. Esto permitirá establecer la ruta más favorable para el desarrollo de la biomasa en Colombia.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que Colombia tiene un amplio potencial para generar energía por medio de biomasa de manera distribuida y así beneficiar la economía local, reducción de contaminación y aprovechamiento de residuos. Esto puede ser logrado mediante el desarrollo por parte del gobierno con políticas que fomente el desarrollo y diversificación de su matriz energética.

***Palabras Clave:*** Biomasa, Energía Eléctrica, Potenciales, Matriz Energética, Diversificación.

**Abstract**

Every day the population is implementing different types of measures which should be as sustainable and friendly as possible for the environment. Society is seeking alternatives and solutions to the problems of daily and future needs; the use of energy is one of them and its demand is increasing year after year. Among the alternatives is the generation of electrical energy using clean energy, looking for a reduction of the consumption of fossil fuels or materials which affect the different ecosystem.

This investigation consists of identifying countries in America, Europe and Asia that take advantage of biomass. Subsequently, the installed capacity and the most used materials in the selected countries will be defined. To do this, it will be determined which practices are used by the selected countries to promote the use of biomass and diversification of their energy matrix. This will allow to establish a favourable route to the development of biomass in Colombia.

The obtained results allow to assert that Colombia has a considerable potential for decentralised energy production from biomass, which could thus be of benefit to the local economy, the reduction of the contamination and the use of the waste. This can be achieved by promoting government participation with policies that promote the development and diversification of its energy matrix.

***Keywords:*** *biomass, electric energy, potentials, energy matrix, diversification*

**Contenido**

Lista de tablas .....	12
Lista de figuras.....	13
Lista de Gráficos .....	15
Lista de Anexos.....	16
Glosario.....	19
Capítulo 1 Introducción e información general .....	23
Introducción .....	23
Justificación .....	27
Planteamiento del problema.....	32
Objetivos.....	41
Objetivo general.....	41
Objetivos específicos. ....	41
Alcance .....	42
Capítulo 2 Revisión bibliográfica .....	43
Energías Renovables.....	43
Energía Solar.....	46
Energía hidráulica .....	47
Energía Eólica.....	48
Energía de los océanos.....	48
Energía geotérmica .....	49



Energía de Biomasa .....	49
Biomasa.....	51
Tipos de materiales. ....	55
Biomasa natural. ....	55
Biomasa residual. ....	55
Cultivos energéticos. ....	56
Excedentes agrícolas. ....	56
Tecnologías. ....	57
Digestión anaeróbica.....	59
Gasificación. ....	60
Combustión. ....	62
Fermentación alcohólica. ....	63
Esterificación. ....	65
Pirolisis. ....	66
Uso final.....	68
Sector doméstico.....	68
Sector industrial. ....	68
Sector comercial.....	68
Matriz Energética colombiana .....	71
Legislación para pequeñas centrales de generación.....	73
Decreto 348 .....	73
Resolución 032.....	73

Capítulo 3 Metodología de estudio .....	75
Etapa 1 .....	76
Etapa 2 .....	76
Etapa 3 .....	76
Etapa 4 .....	77
Etapa 5 .....	77
Capítulo 4 Resultados de estudio .....	78
América.....	81
Europa y Asia.....	86
Análisis de matrices energéticas .....	91
Brasil .....	91
Chile.....	93
Estados Unidos.....	94
El Salvador.....	98
Guatemala .....	100
Honduras .....	101
Nicaragua .....	102
Alemania.....	102
Austria.....	104
Escocia .....	107
Filipinas.....	109
Finlandia .....	112

Francia.....	114
Japón .....	115
Suecia.....	117
Tailandia .....	120
Inglaterra .....	121
Colombia.....	123
Capítulo 5 Conclusiones y Recomendaciones .....	142
Conclusiones .....	142
Recomendaciones .....	148
Referencias.....	150
Anexos .....	160

## Lista de tablas

Tabla 1. Tecnologías para aprovechar potencial energético de la biomasa. ....	67
Tabla 2. Capacidad instalada de biomasa por país. ....	78
Tabla 3. Plantas generadoras según tipo de residuos en países de América. ....	81
Tabla 4. Número de plantas según estado de la materia. ....	83
Tabla 5. Capacidad instalada en MW de países estudiados de América. ....	84
Tabla 6. Plantas generadoras según tipo de residuo en países de Europa y Asia. ....	86
Tabla 7. Plantas generadoras según estado de la materia de países de Europa y Asia. ....	88
Tabla 8. Capacidad instalada de plantas generadoras de países de Europa y Asia. ....	89
Tabla 9. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector agrícola. ....	125
Tabla 10. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector bovino. ....	128
Tabla 11. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector avícola. ....	131
Tabla 12. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector porcino. ....	134
Tabla 13. Potencial energético por capital departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado. ....	136
Tabla 14. Potencial energético por capital departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de poda. ....	138

**Lista de figuras**

Figura 1. Matriz energética en Colombia .....	30
Figura 2. Línea de tiempo de la evolución del mercado eléctrico en Colombia.....	33
Figura 3. Centros poblados interconectados y no interconectados. ....	36
Figura 4. Municipios interconectables y no interconectables. (UPME, 2014). ....	37
Figura 5. Tipos más comunes de energía renovables. ....	46
Figura 6. Pico de producción de petróleo y gases líquidos. (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008). ....	52
Figura 7. Generación de biomasa.....	55
Figura 8. Esquema de aplicaciones generales de la biomasa.....	56
Figura 9. Procesos termoquímicos de transformación energética de la biomasa. ....	57
Figura 10. Procesos bioquímicos de transformación energética de la biomasa.....	58
Figura 11. Esquema de funcionamiento de planta de generación de biogás por medio de digestión anaeróbica .....	59
Figura 12. Esquema de funcionamiento de planta de gasificación. ....	60
Figura 13. Esquema de funcionamiento de planta de combustión.....	62
Figura 14. Esquema de funcionamiento de planta de generación de bioetanol. ....	63
Figura 15. Esquema de funcionamiento de la esterificación. ....	65
Figura 16. Esquema de funcionamiento de la pirolisis. ....	66
Figura 17. Procesos generales de generación y aprovechamiento de la biomasa. ....	69
Figura 18. Crecimiento Económico Latinoamérica. ....	71
Figura 19. Etapas de descripción de prácticas para usar la energía de biomasa en Colombia. ....	75

Figura 20. Matriz energética de Brasil en 2016.....	92
Figura 21. Matriz energética de Chile en 2016.....	94
Figura 22. Biomasa disponible en Estados Unidos.....	95
Figura 23. Matriz Energética de Estados Unidos.....	97
Figura 24. Matriz energética de países de Centro América. ....	100
Figura 25. Matriz energética de Alemania.....	103
Figura 26. Matriz energética de Austria. ....	106
Figura 27. Matriz energética de Escócia 2014.....	108
Figura 28. Distribución de plantas en Filipinas. ....	110
Figura 29. Matriz energética de Filipinas 2011. ....	111
Figura 30. Matriz energética de Finlandia. ....	113
Figura 31. Producción de Electricidad en 2010 de Francia. ....	114
Figura 32. Matriz energética de Japón.....	117
Figura 33. Matriz energética de Suécia.....	119
Figura 34. Generación eléctrica doméstica en Tailandia. ....	121
Figura 35. Tipos de energéticos utilizados. ....	122
Figura 36. Generación eléctrica de Inglaterra.....	123

**Lista de Gráficos**

Grafico 1. Tipo de residuo utilizado por número de planta. ....	82
Grafico 2. Capacidad instalada en MW según el origen del material energético de países de América estudiados. ....	85
Grafico 3. Plantas generadoras según tipo de residuo de países de Europa y Asia. ....	87
Grafico 4. Capacidad instalada de plantas generadoras de países de Europa y Asia. ....	90
Grafico 5. Potencial energético de biomasa agrícola. ....	126
Grafico 6. Potencial energético de biomasa animal (bovino). ....	129
Grafico 7. Potencial energético de biomasa animal (Avícola). ....	132
Grafico 8. Potencial energético de biomasa animal (Porcino). ....	135
Grafico 9. Potencial energético de biomasa urbana (centros de acopio y plazas de mercado)...	137
Grafico 10. Potencial energético de biomasa urbana (de poda). ....	139

**Lista de Anexos**

Anexo 1. Información recopilada de las plantas de biomasa en Brasil, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Por ANEEL, Capacidad de Generación de Brasil. ....	160
Anexo 2. Información recopilada de las plantas de biomasa en Chile, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de SEA Gobierno Chileno y Arauco. ....	178
Anexo 3. Información recopilada de las plantas de biomasa en Estados Unidos, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Covanta, Atlantic Power Corporation, Energy Justice, Biomass Magazine. ....	179
Anexo 4. Información recopilada de las plantas de biomasa en El Salvador, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Por Grupo Cassa, grupo azucarero salvadoreño. ....	198
Anexo 5. Información recopilada de las plantas de biomasa en Guatemala, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Pantaleón, Ingenio San Diego, Ingenio Magdalena y Grupo Santa Ana. ....	199
Anexo 6. Información recopilada de las plantas de biomasa en Honduras, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Central América Data .....	200
Anexo 7. Información recopilada de las plantas de biomasa en Nicaragua, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Nicaragua Sugar y Casur. ....	200
Anexo 8. Información recopilada de las plantas de biomasa en Alemania, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Conoscope.....	200
Anexo 9. Información recopilada de las plantas de biomasa en Austria, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards. ....	201



<i>Anexo 10.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Escocia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Biomass Power Station in the United Kingdom. ....	201
<i>Anexo 11.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Filipinas, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido del Departamento de Energía de la Republica de Filipinas. ....	202
<i>Anexo 12.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Finlandia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. ....	204
<i>Anexo 13.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Francia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Ministère de la Transition écologique et solidaire, ERAS Ingénierie, Energie 2007. ....	205
<i>Anexo 14.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Inglaterra, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Biomass Power Station in the United Kingdom. ....	208
<i>Anexo 15.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Japón, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards, Asia Biomass Office, SFC Japon. ....	209
<i>Anexo 16.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Suecia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards, Fortum. ....	211
<i>Anexo 17.</i> Información recopilada de las plantas de biomasa en Tailandia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenida de Indust Cards. ....	211

**Lista de Siglas**

CO <sub>2</sub>	Dióxido de Carbono
ZNI	Zonas No Interconectadas
EPM	Empresas Públicas de Medellín
FNCER	Fuentes No Convencionales de Energías Renovables
CREG	Comisión de Regulación de Energía y Gas.
UPME	Unidad de Planeación Minero Energética
SIN	Sistema Interconectado Nacional
DANE	Departamento Administrativo Nacional de Estadística
IPSE	Instituto de Planificación y Promoción de Soluciones Energéticas
RU	Residuos Urbanos

### Glosario

- Autogeneración:** Es aquella persona natural o jurídica que produce energía eléctrica exclusivamente para atender sus propias necesidades. Por lo tanto, no usa la red pública para fines distintos al de obtener respaldo del SIN y puede o no, ser el propietario del sistema de generación. (Morales, 2004).
- Biomasa:** Materia orgánica en un proceso biológico, espontaneo o provocado, utilizable como fuente de energía. (Real Academia Española, 2018).
- Cambio Climático:** Es la variación global del clima de la Tierra. Es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se produce a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos: temperatura, precipitaciones, nubosidad, etc. (Gobierno de España, 2012).
- Capacidad Instalada:** Potencia nominal o de placa de una unidad generadora, o bien se puede referir a una central, un sistema local o un sistema interconectado. (Gobierno de Mexico, 2012).
- Cargo por Confiabilidad:** Es un esquema de remuneración que permite hacer viable la inversión en los recursos de generación necesarios para atender la demanda de

manera eficiente en condiciones críticas de abastecimiento hídrico, a través de la estabilización de los ingresos del generador. Este esquema está incorporado en la legislación colombiana desde la ley 143 de 1994, artículo 23. (CREG, 2017).

- Cogeneración:** Proceso de producción combinada de energía eléctrica y energía térmica, que hace parte integrante de una actividad productiva, destinadas ambas al consumo propio o de terceros y destinadas a procesos industriales o comerciales. (Morales, 2004).
- Combustibles Fósiles:** Se conoce como combustibles fósiles al petróleo, gas natural y carbón mineral, acumulados durante millones de años y por lo tanto de carácter no renovable bajo el concepto temporal, y que se usan principalmente para satisfacer la demanda de energía. La mayor cantidad de estas tres sustancias sencillamente se queman para proporcionar energía calórica y en escasa cuantía para ser utilizados como materia prima. (Amorocho & Oliveros, 2000)
- Confiabilidad:** Es a habilidad del Sistema Eléctrico para mantenerse integrado y suministrar los requerimientos de energía eléctrica en cantidad y estándares de calidad, tomando en cuenta la probabilidad de ocurrencia de la contingencia sencilla más severa. (Gobierno de Mexico, 2012).

**Dióxido de Carbono:**

Es un gas incoloro, denso y poco reactivo. Forma parte de la composición de la tropósfera (capa de la atmósfera más próxima a la Tierra) actualmente en una proporción de 350 ppm. (partes por millón). Su ciclo en la naturaleza está vinculado al del oxígeno. (Braga, 2004).

**Eficiencia Energética:**

Se define como el uso eficiente de la energía. Un aparato, proceso o instalación es energéticamente eficiente cuando consume una cantidad inferior a la medida de energía para realizar una actividad. La eficiencia energética busca proteger el medio ambiente mediante la reducción de la intensidad energética y habituando al usuario a consumir lo necesario. (Factorenergia, 2017).

**Generación Distribuida:**

Se define como la producción de energía en las instalaciones de los consumidores, suministrando energía directamente a la red de distribución. (Fundacion gasNatural fenosa, 2012).

**Impacto Ambiental:**

Se refiere al efecto que produce una determinada acción humana sobre el medio ambiente en sus distintos aspectos, en términos más técnicos, podríamos decir que el impacto ambiental es aquella alteración de la línea de base como consecuencia de la acción antrópica o de eventos de tipo natural. (Definicion ABC, 2017).

<b>Matriz Energética Diversificación:</b>	Presenta porcentajes más balanceados en términos de la participación de cada energético, lo que permite aumentar la seguridad del suministro, disminuyendo el riesgo de que existan grandes pérdidas de bienestar producto de interrupciones en el abastecimiento del energético más demandado. (Aprende con Energía, 2014).
<b>Matriz Energética:</b>	Es la representación cuantitativa de la totalidad de energía que utiliza un país, e indica la incidencia relativa de las fuentes que procede cada tipo de energía: nuclear, hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica o combustibles fósiles como el petróleo, el gas y el carbón. (Energías de mi País, 2014).
<b>Poligeneración:</b>	Sistema de (auto)abastecimiento sostenible para suministro de agua y energía (calor y frío) de calidad para un municipio, edificio, hotel o industria. (CIRCE, 2012).
<b>Residuos:</b>	Material que queda como inservible después de realizar un trabajo u operación. (Real Academia Española, 2018).
<b>Sostenibilidad Ambiental:</b>	Es el equilibrio que se genera a través de la relación armónica entre la sociedad y la naturaleza que lo rodea y de la cual hace parte. Esta

implica lograr resultados de desarrollo sin amenazar las fuentes de nuestros recursos naturales y sin comprometer los de las futuras generaciones. (Coherencia, 2017).

## **Capítulo 1**

### **Introducción e información general**

#### **Introducción**

La investigación que se presenta a continuación es un análisis comparativo de las diferentes prácticas implementadas para el uso de la biomasa en algunos países de tres continentes diferentes (América, Europa y Asia). Dentro del contexto mundial cada vez son más los proyectos en los que se involucran las energías renovables de tal forma que sean estas las fuentes de energía eléctrica y térmica.

El interés mundial se está enfocando en evitar el agotamiento de los recursos naturales no renovables y reducir las emisiones de gases contaminantes, colocando como meta la generación de energía por medio de fuentes renovables y así disminuir el impacto ambiental, para lo cual organizaciones como la Unión Europea ha puesto como meta aumentar el 20% de uso de Energías Renovables para el 2020 (European Commission, 2017). Este cambio se debe a la dependencia energética mundial de los combustibles fósiles, la necesidad de reducir la dependencia al petróleo por parte de los países importadores y la obligación de disminuir los problemas ambientales generados, esto ha permitido guiar y unir los esfuerzos de las industrias, el gobierno y la academia al estudio de los potenciales de fuentes alternativas y renovables de energía.

La biomasa es el recurso renovable más empleado en todo el mundo, esta tiene usos tradicionales (combustión directa para usos domestico) y modernos (generación de energía eléctrica y térmica a mayor escala), la cual posee ventajas medioambientales como son:



- Su contenido de CO<sub>2</sub> es neutro, ya que el que se libera durante la combustión es el mismo que se fija en su crecimiento
- Mayor contenido de oxígeno que el carbón
- Menor contenido de azufre y de nitrógeno, lo que influye en las emisiones
- Menor contenido de cenizas, disminuyendo el riesgo de lluvias ácidas y de incendios. (Nogues, Garcia-Galindo, & Rezeu, 2010)

La biomasa es una de las fuentes de energías renovables que posee una mayor tasa de renovación, se aprovecha la energía de los residuos que provienen de los animales, vegetales, humanos, entre otros; a través de diferentes tecnologías que poseen la particularidad de extraer recursos energéticos de un residuo, realizando un adecuado proceso que facilita el reciclaje y disminuyen los residuos finales. Su contribución al medio ambiente de CO<sub>2</sub> es neutro (Castells X. E., Tratamiento y valorización energética de residuos, 2005), porque es absorbido por las plantas en su proceso de fotosíntesis, se disminuyen residuos, desechos, aguas residuales, entre otros elementos que dañan y/o contaminan diferentes ecosistemas.

La biomasa brinda beneficios económicos y para la conservación del ambiente por la utilización de residuos que se encuentran a disposición de todos, mientras que los combustibles fósiles tienen procesos de extracción más complejos, dificultando su obtención y aumentando el precio de adquisición. Se debe destacar que la generación de energía eléctrica a partir de biomasa es una valiosa oportunidad para generar empleos y desarrollo de las zonas rurales. Esta oportunidad fomentará la disminución de

desigualdades sociales, brindando la posibilidad a zonas apartadas de generar su propia energía o vender sus residuos.

Colombia es un país que tiene un amplio potencial energético debido a la gran producción de residuos agrícolas como son banano, cascarilla de arroz, pulpa de café y explotaciones silvícolas, entre otras. (Almudena, 2014) Esta riqueza en la flora y fauna que permite que existan un gran potencial energético se debe a la posición geográfica que posee el país (Colombia, 2017). El potencial energético del país en biomasa se estima que es cerca de 16GWh al año, especialmente en zonas o áreas rurales del país donde prevalecen residuos de origen agrícola, forestal y animal. (Ministerio de Minas y Energías, 2014) Sin embargo, Colombia aún no posee tanto desarrollo en generación con biomasa para el gran potencial que existe, debido a faltas de políticas, poca participación o interés de los diferentes sectores, desactualización de agenda energética (Techno Elite, 2017). Hasta el momento solo existen estudios preliminares que permiten predecir cuanto potencial energético tiene el país y cuanto potencial posee cada departamento. (UPME, 2003).

Esta investigación permite analizar la factibilidad en la implementación de plantas de generación de energía eléctrica por medio de biomasa en Colombia, el estudio se realizó en 17 países de América, Europa y Asia, identificando y analizando el energético empleado y la capacidad (MW) instalada.

El trabajo está conformado por 5 capítulos, los cuales están estructurados de la siguiente forma:

El **Capítulo 1** se concentra en presentar una introducción y aspectos generales del proyecto, con una breve historia de los diferentes problemas que ha tenido Colombia en el sector eléctrico y la importancia de las energías renovables. Se presenta planteamiento del problema, justificación, objetivos y alcance de este.

En el **Capítulo 2** se presenta la revisión bibliográfica realizada, en la que se encuentra cuáles son todas las energías renovables que existen actualmente, que es la biomasa, tecnologías, energéticos y usos más frecuente, por último, la matriz energética se analiza y se definen las resoluciones que le dan más viabilidad a las energías renovables en Colombia

En el **Capítulo 3** se presenta como se desarrolló de la investigación, la metodología empleada para la recopilación de información y los criterios que se tuvieron en cuenta para la clasificación, como son energéticos y legislaciones colombianas para discriminar bajas capacidades instaladas de algunas plantas

En el **Capítulo 4**, se presentan los resultados obtenidos de esta investigación, para América y para Euro-Asia, el análisis se presenta mediante gráficos. Además, cada matriz energética de los diferentes países fue analizado, por último, se analiza Colombia y los potenciales que esta posee.

En el **Capítulo 5**, se presentan las conclusiones del proyecto y se describe cual es la ruta más favorable para Colombia basado en experiencias internacionales. Por último, se definen recomendaciones.

### Justificación

Los países viven una dinámica de crecimiento poblacional, variaciones en el clima, retos financieros y económicos, por consiguiente, surge la necesidad de tener sostenibilidad ambiental y energética para lograr un mayor equilibrio. En este mismo sentido, la generación de energía por medio de biomasa permite mayor diversificación de la canasta energética y al mismo tiempo equilibrio ambiental.

La utilización de residuos para la generación proporciona una solución para los problemas de crisis energéticas que ha tenido el país a lo largo de los años (fenómeno del niño, entre otros).

Según el Banco Interamericano de Desarrollo “*Se prevé que en Colombia exista un crecimiento energético del 110,3% debido al crecimiento poblacional y financiero para el 2040, esto requerirá una cantidad sin precedentes de infraestructura que soporte la demanda del recurso*” (Balza, Espinaza, & Serebrisky, 2016). El país debe buscar alternativas no solo de respaldo para suplir la demanda actual, sino proyectarse con energías alternativas para brindar energía a las ZNI del país, o incentivando para que estos generen su propia energía a pequeña escala; y dar un excelente aprovechamiento a su potencial energético de biomasa.

“*El Niño es la fase cálida del ENSO, en la que se presenta un aumento de las temperaturas superficiales del mar, en particular sobre el centro y el oriente del Pacífico tropical, lo cual conduce a alteraciones en los patrones de circulación de vientos, de presiones atmosféricas superficiales y de pre-cipitación sobre todo el Océano Pacífico, con un tiempo de recurrencia de 2 a 2.5 años*” (Poveda, 2004)

Teniendo en cuenta la recurrencia de este fenómeno no es conveniente depender de recursos hídricos, en el caso Colombia se depende de dos fuentes de generación, hidráulica y térmica. Históricamente el gobierno ha tenido problemas por falta de planeación para diversificar su canasta energética y así mismo, mitigar los posibles efectos que tengan los cambios climáticos en la generación de energía y de esta manera abastecer la demanda del país sin problemas.

A partir de las crisis en 1992, se han generado resoluciones como la 086 del 15 de octubre de 1996 (CREG, 2001). En esta se comienza a fomentar el uso de energías renovables y se reglamenta la generación de energía para plantas menores a 20MW, siendo este el periodo donde se construye el parque Jeripachi. (EPM, 2004).

En el país no surgieron más iniciativas de generación por medio de energías renovables, hasta después de que casi hubiera un colapso energético en el 2016, por lo que surgió el decreto 348 del 1 de marzo del 2017 (Ministerio de Minas y Energía, 2017). En el cual se establecen los lineamientos para la eficiencia energética y la entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala, incentivando así al sector industrial a generar su propia energía y vender sus excedentes energéticos.

En (Serpa, 2015) se indica que: *“el problema de Colombia no es por la sequía (fenómeno del niño) sino la consecuencia de previsión de los generadores y de la falta de interés del regulador por desarrollar un mercado energético más transparente”*.

Los problemas que Colombia ha presentado no han sido solo por sequía sino por falta de introducción de otras fuentes de energías en su matriz energética (Edsand, 2017), como solución se proponen diferentes alternativas para mitigar cambios climatológicos y escasez de combustibles fósiles.

La comunidad científica ha presentado una creciente necesidad en el desarrollo de tecnologías de generación con energías renovables debido a fenómenos y cambios climatológicos y ha encontrado en la biomasa un gran potencial para aportar en la matriz energética del país, debido a los grandes beneficios que posee.

Cada material que se encuentra en la tierra tiene potencial energético por lo que residuos como conchas de plátano, residuos forestales, estiércol, residuos de comida, residuos de caña, entre otros, pueden ser aprovechados en forma de calor, electricidad y combustible, según el uso que se requiera.

Actualmente el 63.9% de la energía proviene de las hidroeléctricas, como se muestra en la figura 1 (Castillo, Castrillon, Vanegas, Valencia, & Villicaña, 2014). De esta manera el sector eléctrico está condicionado a los cambios climatológicos, esto obliga a Colombia a replantear sus criterios de generación de energía eléctrica migrando a generación por FNCER.

La inclusión de las FNCER como la biomasa impulsa la generación en las grandes ciudades y también las ZNI a escala relativa a su potencial, generando un menor impacto ambiental y un bajo costo de generación. Así las localidades alejadas que no cuentan con servicio de energía eléctrica se beneficiarían ya que se puede aprovechar casi cualquier desecho que se encuentre disponible (Franco, Dyner, & Hoyos, 2007). En la Alta Guajira

las FNCER se introdujeron exitosamente dando como resultado la posibilidad de utilizar sistemas híbridos donde se complementen diferentes fuentes de energía para atender una demanda (Consortio Energético Corpoema, 2010).

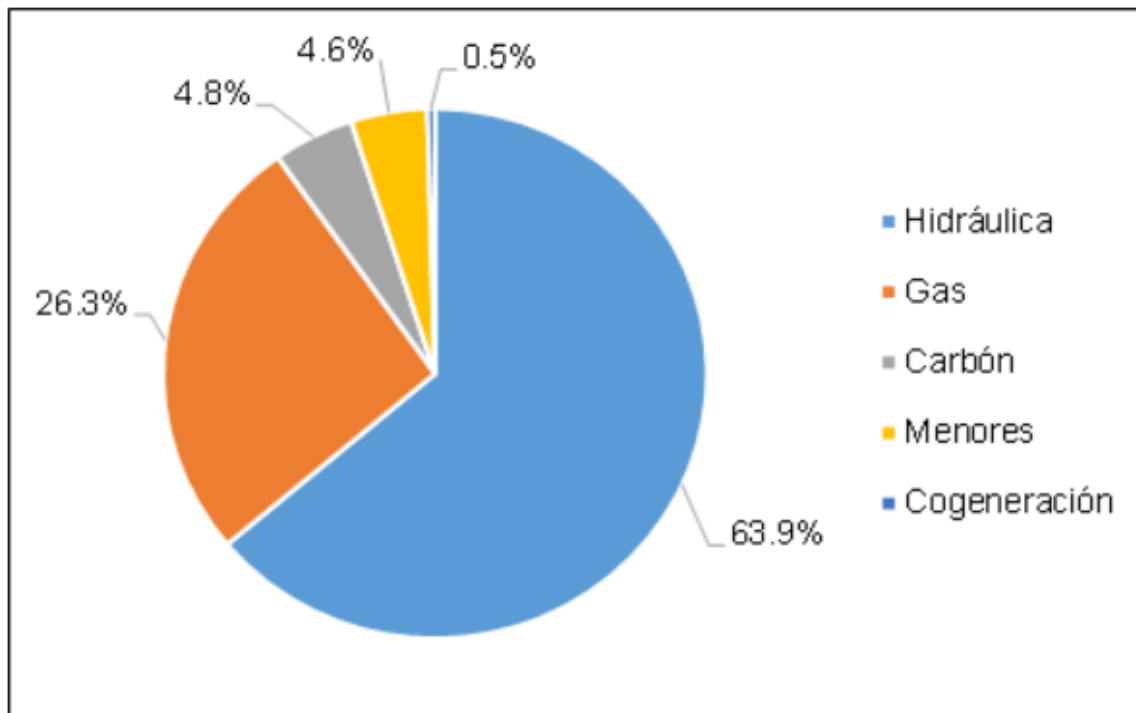


Figura 1. Matriz energética en Colombia

**Fuente:** (UPME, 2015).

Colombia ha aumentado el potencial de energía eléctrica generado por medio de biomasa, gracias a generaciones con el bagazo de caña utilizado para cogeneración en pequeñas industrias paneleras y azucareras (Rincon & Silva, 2014). Esta investigación tiene como objetivo conocer y comparar las practicas implementadas de 17 países de 3 continentes diferentes, para generar una referencia que permita comprender como estos países lograron desarrollar su matriz energética, entender las metodologías y tipos de

residuos utilizados, y de qué manera Colombia podría desarrollar proyectos a partir de la experiencia adquirida por ellos y a mayor escala de la que posee (UPME, 2010).



### Planteamiento del problema

*“El fenómeno de “el Niño” es un evento climatológico que se genera cada cierto número de años por el calentamiento del océano Pacífico. Sus efectos son notables en el norte de la región pacífica, los departamentos de la región andina y en los departamentos de la región caribe”.* (Sistema de Información Ambiental de Colombia, 2016).

Este fenómeno se ha presentado en Colombia entre los años 1989 – 1990 y 2009 – 2010, sin que hubiera problemas en la generación de energía eléctrica (Alvarez, 2011), pero en los años de 1992 y 1993 Colombia sufrió su mayor crisis energética, debido al fenómeno del niño, presentándose fuertes sequías y afectando los niveles de los embalses de las hidroeléctricas. El gobierno tomó la dura decisión de realizar racionamientos en el consumo de la energía eléctrica, esto consistió en suspender el servicio de energía eléctrica por largos periodos del día. (Martínez, 2009).

*“El 2 de marzo de 1992 el gobierno anunció cortes de energía eléctrica, en ciudades como Bogotá D.C., hubo racionamientos de energía hasta por nueve horas al día y en las islas de San Andrés y Providencia hasta por dieciocho horas”* (Valencia, 2016). El presidente en ese entonces César Gaviria decidió adelantar una hora en el reloj de los colombianos, para aprovechar más las horas de iluminación solar.

El sector eléctrico entró en una crisis, por lo que no tenía solvencia y no era capaz de atender la demanda del país. (Valencia, 2016). Con el interés de dar una solución al problema estructural por el que pasaba el sector eléctrico se expide en 1994 la ley 143 y

se crea la Comisión Reguladora de Energía y Gas (CREG), desde entonces inicia la regulación en el mercado de energía y se fomenta un mejor uso del recurso hídrico

Inicia el cargo por capacidad (1996) y luego cambia al cargo por confiabilidad (2006) lo que permite desarrollar la expansión del sector eléctrico colombiano y crear la interconexión con Ecuador (2003). Colombia logro aumentar su capacidad de generación en el 2009, gracias a la construcción de varias hidroeléctricas y termoeléctricas, aumentando su capacidad hídrica al 67.7%. (Grimaldo, Mendoza, & Reyes, 2017). Estos hechos han marcado la evolución del mercado energético colombiano, como se muestra en la figura 2.

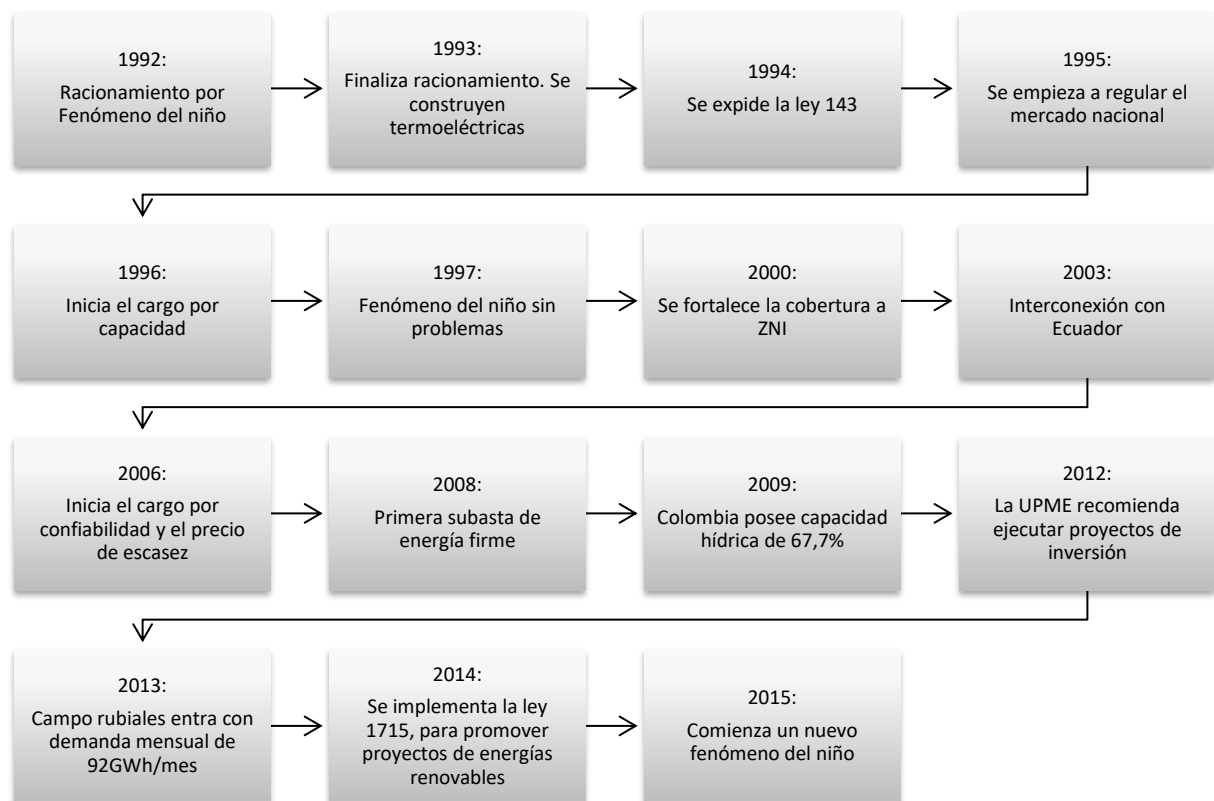


Figura 2. Línea de tiempo de la evolución del mercado eléctrico en Colombia.

**Fuente:** (Grimaldo, Mendoza, & Reyes, 2017).

En el 2015 y 2016 inicia otro fenómeno del niño. Para febrero del 2016 se presentó el 57% de disminución de los embalses lo que generó dificultades para suplir la demanda del país, El 15 de febrero en la Central Hidroeléctrica de Guatapé (Guatapé - Antioquia), se presentó un incendio en uno de los cuartos de máquinas debido a sequias y disminución del embalse lo que obligó a suspender la generación por varios meses (Grimaldo, Mendoza, & Reyes, 2017)

El país decidió importar energía desde Ecuador para mitigar la salida de esta hidroeléctrica. Lo embalses seguían disminuyendo su capacidad al 30,49% y el 29 de febrero, Termoflores en (Barranquilla – Atlántico) sale de funcionamiento por presentar fallas en una de las turbinas, lo que genere un gran colapso ya que estas dos generadoras aportaban aproximadamente el 10% del potencial nacional. Esta crisis se dio porque no se tenía confiabilidad en la capacidad de generación para suplir la demanda (Grimaldo, Mendoza, & Reyes, 2017).

En marzo el ministro de minas y energía renuncia, XM recomienda un racionamiento de 6 semana, pero el gobierno decide impulsar campañas para incentivar el ahorro energético y lograr disminuir el consumo un 10%, de tal forma que no fuera necesario realizar racionamientos nuevamente como en el 92, lo que dio buenos resultados por parte de los colombianos y con la importación de energía desde Ecuador, no fue necesario realizar racionamientos. (Valencia, 2016).

En busca de realizar proyecciones asertivas que le brinden al país más confiabilidad en la capacidad de generación para suplir la oferta sin que se vea afectado por fenómenos climatológicos, se hace necesario un plan para generar diversificación de

la matriz energética colombiana, logrando disminuir la dependencia de generación de energía eléctrica hídrica y térmica convencional. Para lograr este objetivo se debe invertir e investigar en proyectos con FNCER que permitan incrementar la cobertura del sistema eléctrico colombiano.

Según (UPME, 2016) en la actualidad el sistema eléctrico colombiano distribuye energía para el 96.9% de la población aproximadamente, sin embargo, todavía existe un 3.1% en las zonas más apartadas sin contar con el servicio básico de electricidad.

*“Según la Ley 855 de 2003, son Zonas no Interconectadas, las que se entienden como municipios, corregimientos, localidades y caseríos no conectados al Sistema Interconectado Nacional (SIN)”* (Bustos, Sepulveda, & Triviño, 2014). En estos lugares es muy difícil tener acceso a electricidad debido a la geografía del país. La interconexión total del país acarrea altos costos y grandes impactos ambientales, debido a la mayor parte de estos lugares se ubica en zonas montañosas o en la selva como se muestra en la figura 3 y 4.

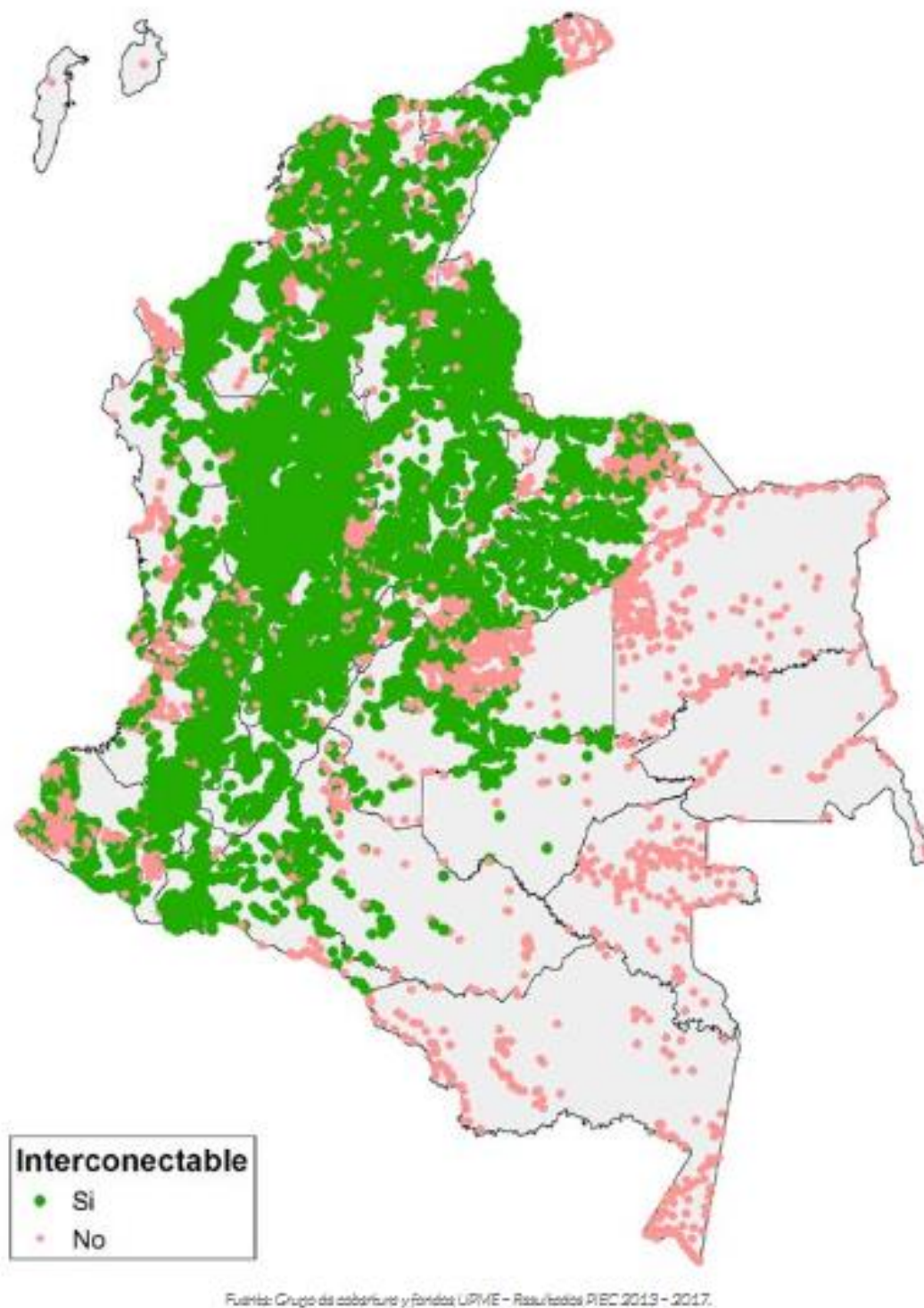


Figura 3. Centros poblados interconectados y no interconectados.

Fuente: (UPME, 2014).

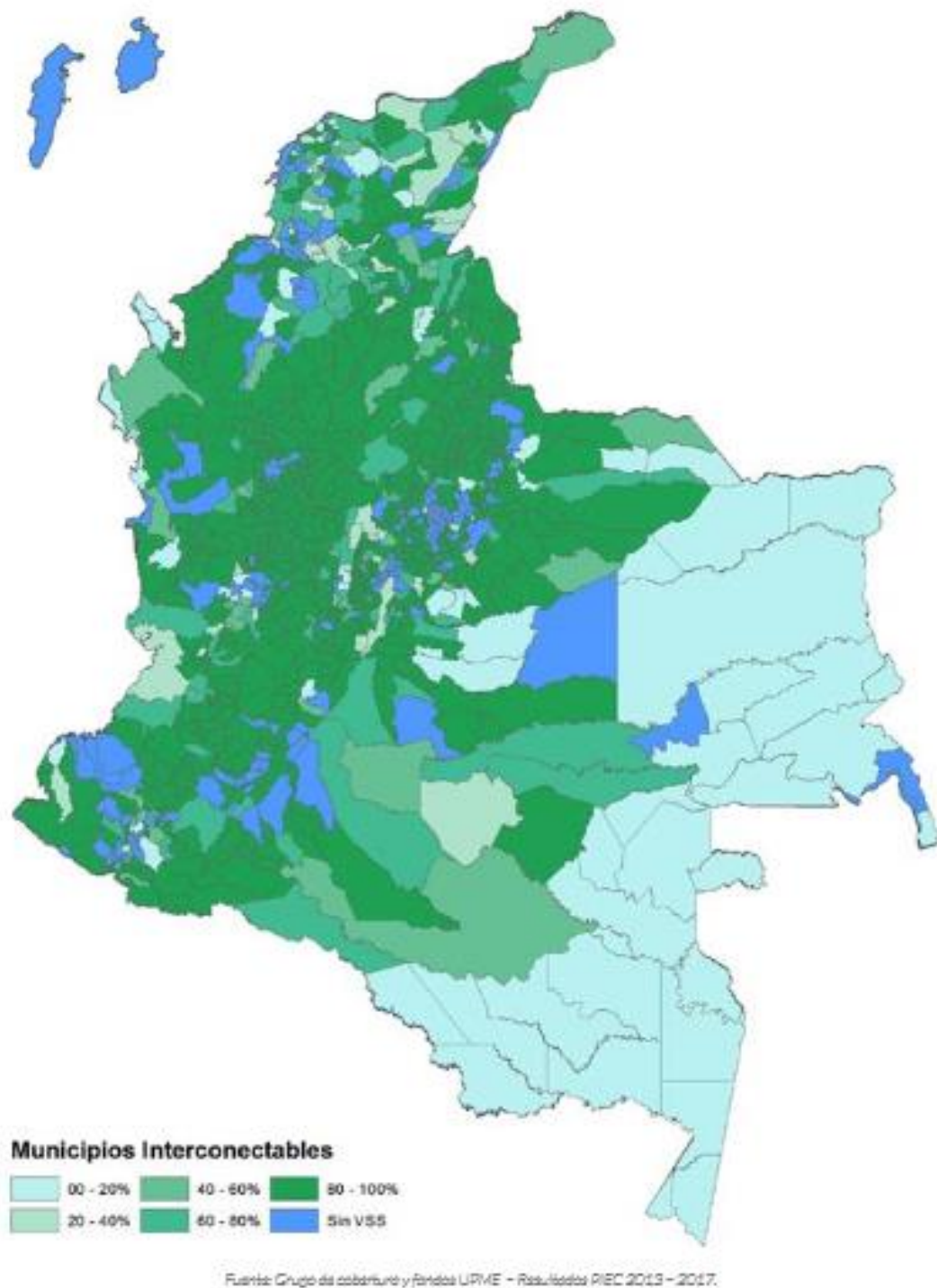


Figura 4. Municipios interconectables y no interconectables. (UPME, 2014).

**Fuente:** (UPME, 2014).

El hecho de que aún existe un porcentaje de la población sin servicios básicos provoca que el desarrollo del país se vea limitado y que la calidad de vida de las personas que habitan ahí no sea tan favorecida.

El uso de la energía eléctrica facilita las actividades cotidianas, oportunidad que no existe en algunas zonas del país como se observa en la figura 3 y 4 que las ZNI son las más apartadas y corresponden a los lugares con los mayores niveles de pobreza según el DANE, esta población representa el 52% del territorio nacional y 39 cabezas municipales según él (IPSE, 2014), lo que se puede relacionar con el poco desarrollo y la falta de satisfacción de las necesidades básicas, lo que conlleva a grandes brechas socioeconómicas en el país.

*“A partir de 1938 se declara servicio público fundamental el suministro de energía eléctrica (IPSE, 2008), es responsabilidad del Estado colombiano asegurar su prestación eficiente a todos los habitantes del territorio nacional (Artículo 365, Constitución Política de Colombia)”. (Bustos, Sepulveda, & Triviño, 2014).*

De lo anterior, se responsabiliza al estado para velar por el desarrollo energético y promover la prestación del servicio de energía eléctrica a toda la población. El gobierno gestiona diferentes proyectos de ampliación o construcción de interconexiones con soluciones no convencionales ejecutadas en cabeceras municipales, corregimiento y localidades menores del país que aún no cuentan con electricidad como se muestra en el informe Sector Energía Eléctrica del (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

No obstante, se hace necesario buscar alternativas, donde exista menor impacto ambiental y disminución de costos. Una posibilidad es generar energía más cerca del consumidor a grande o pequeña escala con sus propios recursos, esto permite conexión directa con el usuario, generación descentralizada y evita largos transportes de energía. (Comunidad de Madrid, 2007).

El caso de Isla Fuerte corregimiento de Cartagena de Indias en Colombia, hace parte del área marina protegida de San Bernardo y Nuestra Señora del Rosario. En esta isla se han instalado cuatro plantas, dos Hidrosolares y dos de Diesel, proyecto que inicio como una prueba piloto de (IPSE, 2015) como el primer proyecto de generación distribuida. Como resultado ha permitido mejorar la calidad de vida de las personas, mayor aprovechamiento del tiempo y a su vez le permite a la comunidad realizar actividades para su desarrollo económico, social y educativo, entre otros aspectos. Este proyecto ha dado resultado en gran parte por el compromiso y organización de líderes de la comunidad que han creado estrategias para cubrir los gastos del mantenimiento que esto acarrea. (Alianza clima y desarrollo, 2014).

Actualmente la isla es autosustentable ya que hace uso de su espacio y condiciones climáticas para obtener energía, lo que la convierte en un caso puntual de poligeneración en Colombia.

En zonas apartadas y de difícil acceso como es en el choco, Orinoquia y amazona se utilizan combustibles fósiles para generar energía en zonas apartadas, lo que aumenta el costo para generar. La biomasa se puede introducir como una fuente de energía para



ser utilizada en el sistema de poligeneración porque los costos operacionales se disminuyen al reemplazar la fuente de energía por biocombustibles. Estos son generados desde sus propios residuos en lugares apartados o de difícil acceso en Colombia, en los que sea muy costoso llevar redes eléctricas para el suministro de energía. Como las pruebas piloto que adelanta el IPSE en Necoclí – Antioquia, Timbiquí – Cauca, Belén de Bajura – Chocó, Tumaco – Nariño (Pérez, 2008).

En esta investigación se realiza un estudio comparativo de plantas generadoras de energía eléctrica por medio de biomásas ya existentes y otras en proyección en países de tres continentes diferentes como lo son Brasil, Chile, Estados Unidos de América, El Salvador, Guatemala, Honduras, Nicaragua, Inglaterra, Alemania, Austria, Escocia, Filipinas, Finlandia, Francia, Japón, Suecia, Tailandia; con la finalidad de identificar las mejores prácticas empleadas para introducir la biomasa y así diversificar la canasta energética en base a experiencias internacionales.

Es importante conocer cuáles fueron las pautas que les permitieron diseñar su ruta de crecimiento y expansión energética, lo que lleva al siguiente cuestionamiento: ¿Cuáles son las relaciones que existen entre los energéticos, las estrategias de generación/aprovechamiento energético y la ubicación geográfica de los países estudiados? Y establecer si ¿existen oportunidades de crear planes para la construcción de plantas de generación por medio de biomásas en Colombia?

**Objetivos**

**Objetivo general.**

Describir las condiciones que orientan buenas prácticas para el uso de la energía de la biomasa en Colombia con base a experiencias internacionales.

**Objetivos específicos.**

1. Identificar los países de América, Europa y Asia que tienen un aprovechamiento de la Biomasa.
2. Definir la capacidad instalada y material energético usado en los países objeto de estudio.
3. Reconocer las buenas prácticas de generación de energía con biomasa aplicada en los países objeto de estudio.
4. Determinar las biomasas disponibles en Colombia y sus potenciales de generación de energía con base de buenas prácticas.

**Alcance**

Se identificarán países con capacidad instalada de generación de energía a partir de biomasa, se corrobora con información de las páginas oficiales de los gobiernos de los países seleccionados. Por medio de la regulación eléctrica colombiana, se espera encontrar estrategias que permitan mejorar la matriz energética colombiana.

La información procesada permitirá identificar la capacidad instalada y tipo de material utilizado. Con el análisis de la información se identifican las prácticas o métodos que estos han implementado para la diversificación de su matriz energética. Las matrices energéticas de los países permitieron complementar el análisis e identificación de prácticas.

Se identifican zonas con alto potencial de aprovechamiento para estudiar las posibilidades de Colombia en generación con biomasa en base de buenas prácticas.

**Capítulo 2****Revisión bibliográfica****Energías Renovables**

La energía renovable es el término que indica la energía que proviene de recursos inagotables como son el sol, el viento, el agua, la vegetación y el calor al interior de la tierra. (Castells X. E., 2012) indica que la energía renovable es aquella que no consume recursos agotables y no contamina, es decir, que puede ser la energía un elemento sostenible.

Por otro lado, existen fuentes renovables y no renovables según la reposición de la energía, cuando la energía no se produce en una escala humana y el consumo acaba por agotar la reserva se considera no renovables como combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas natural; son renovables la energía solar, eólica geotérmica, mareomotriz, entre otros (Juana, y otros, 2007).

La comunidad de Madrid afirma que las fuentes renovables son las que se producen de manera continua y son inagotables a escala humana, aunque para la biomasa sucede si se respetan los ciclos naturales. El sol es el origen de las demás fuentes no renovables porque el calor que provoca genera diferencia de temperaturas generando vientos (energía eólica), ordena el ciclo del agua (energía hidráulica), las plantas necesitan del sol para realizar fotosíntesis (energía de biomasa) y con el sol puede obtenerse energía directamente (Merino, 2010).

Según el (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático, 2011) las energías renovables aportan beneficios para mitigar el cambio climático,

contribuir al desarrollo social y económico, favorecer el acceso a la energía y la seguridad del suministro de energía y reducir efectos negativos sobre el medio ambiente y la salud de los seres humanos.

(Solventa, 2015) Afirma que “*se conoce como Energías Renovables aquella que se producen de forma continua y que son inagotables a escala humana*”.

Las energías renovables son una alternativa de gran impacto para la sociedad en el sentido que es una solución para mantener el mismo consumo de energía pero con otra fuente de generación de tal forma que no se afecte el desarrollo social o económico de una población, lo que recibe el nombre de desarrollo sostenible, el cual consiste en satisfacer las necesidades actuales, cuidando que el desarrollo de generaciones futuras no se vea en peligro por escasez de recursos, y así mismo disminuya el consumo de recursos que no son renovables a escala humana. (Juana, y otros, 2007)

La generación de energía y el transporte lleva a consumo de energías convencionales que tiene como toda actividad humana impactos sobre el medio, sin embargo se puede afirmar que el consumo descontrolado de combustibles fósiles es el origen de problemas ambientales como lluvia acida y cambio climático, no se puede afirmar que estos efectos no existen en las renovables si se mitigan y son reversibles (Merino, 2010).

Los combustibles fósiles son recursos que han generado diversos conflictos de orden político y ambiental, estos conflictos han provocado realizar más desarrollo en tecnologías alternativas de producción de energía eléctrica a base de recursos renovables y contribuyendo al medio ambiente por medio de la disminución de emisiones

contaminantes. En el 2006 la Unión Europea planteo un mapa u hoja de ruta para lograr una mayor participación de las fuentes de energías renovables en el mercado, en la que se espera lograr una participación del 25% de estas energías en el 2020. La energía eólica y Biomasa aportan el mayor crecimiento en generación por medio de fuentes renovables, sumando el 80% de generación FNCER (Kozulj, 2010).

Entre las fuentes de energías renovables, se pueden encontrar: energía solar, energía hidráulica, energía eólica, energía de los océanos, energía de la biomasa, energía geotérmica, entre las más importantes como se muestra en la figura 5; las cuales se pueden aprovechar con diferentes tipos de tecnologías, para poder generar diversas formas de energía como calor, fuerza motriz, entre otros. Estas formas de energía se pueden convertir en energía eléctrica y ser consumida por las poblaciones para sus necesidades. Las energías pueden ser aprovechadas en diversas partes del mundo, como lo es en Colombia, que cuenta con gran potenciales eólicos y solares especialmente en el norte del país, también tiene gran afluencia de ríos y cuencas que permite la generación de energía hidráulica, y tiene grandes residuos vegetales, forestales y animal que puede ser utilizado como biomasa; es decir, que Colombia tiene una amplia gama de variedades para generar energía eléctrico a través de energías de rápida renovación. A continuación, se detallarán las energías renovables más importantes.

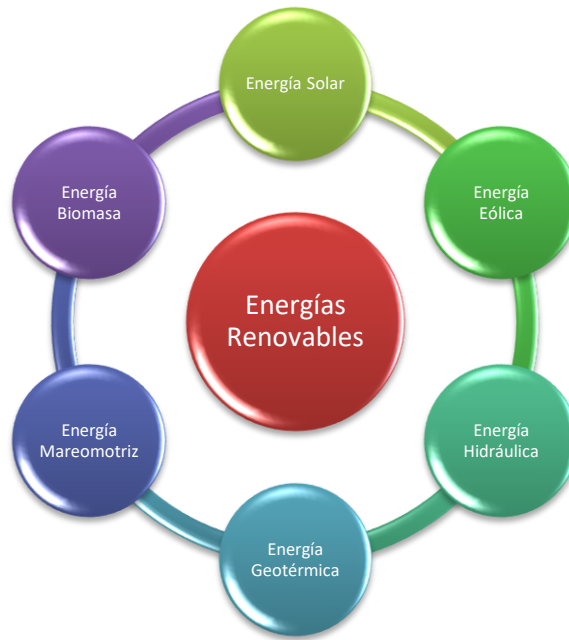


Figura 5. Tipos más comunes de energía renovables.

**Fuente:** Realizado por Reyes Wendy 2018.

### Energía Solar

Se define como, “*la energía producida por reacciones nucleares al interior del sol, que son transmitidas en forma de ondas electromagnéticas a través del espacio*”.

(UPME, 2003). Es por esta razón que se considera que es el sol quien origina indirectamente todas las otras energías que existen en la tierra, como es el viento, luego el calor que se genera hace que el agua se evapore, por lo que existen lluvias que forman ríos o cuencas y las mareas son generadas de las fuerzas gravitatorias que el sol y la luna ejercen sobre la tierra.

Para aprovechar al máximo la energía solar es importante conocer cuanta energía se obtiene del sol por metro cuadrado, la cual depende de diversos factores, como son la

posición del sol con respecto a la tierra. Aproximadamente se puede obtener 100Wp por metro cuadrado en un día despejado. Para poder transformar la energía solar se pueden utilizar tres tecnologías como son:

**Energía Solar Fotovoltaica.** La energía solar se convierte en electricidad mediante celdas fotovoltaicas semiconductoras, puede ser utilizada inmediatamente o almacenada en baterías.

**Energía Solar Térmica.** Este método concentra energía en un solo punto para calentar más el receptor, de esta forma se pierde energía.

**Energía Solar Pasiva.** En este caso se aprovecha la energía solar utilizando elementos de construcción que funciona como colectores solares ya sea para calentar o refrescar la vivienda (Javier Mendez, 2007).

### **Energía hidráulica**

Este tipo de energía se obtiene de la energía cinética y potencial que tiene las grandes corrientes de agua al caer de ciertas alturas, este es la segunda forma de generación en Colombia, debido a la gran riqueza hídrica del país. Esta consiste en construir represas para almacenar agua en un embalse, de tal forma que se aproveche la energía potencial cuando esta es liberada, luego se transforma en energía mecánica al pasar por turbinas y luego esta energía es convertida en eléctrica.



Las pequeñas centrales hidráulicas (menor de 10MW de capacidad instalada) son vista como una alternativa más favorable, ya que están generan pequeños impactos ambientales en sus construcciones y sirven para zonas muy apartadas. (UPME, 2003).

Este tipo de generación sigue siendo muy atractiva para los países con grandes afluentes hídricos, ya que es una fuente de energía autóctona, de gran calidad y de fortalecimiento para el sector eléctrico de un país (Mosquera & Merino).

### **Energía Eólica**

Este tipo de energía se aprovecha por el viento que es producto indirecto del sol, debido a diferentes temperaturas en la tierra. Esta energía se encuentra en forma cinética, la cual al pasar por aerogeneradores hace que estos giren y generen energía eléctrica. Las turbinas se clasifican en horizontales y verticales, usualmente se usan de eje horizontal ubicados en parques eólicos que son plantas de generación eléctrica con sistemas eólicos, las cuales se pueden interconectar con el sistema de distribución del país. Tiene los siguientes usos: bombeo de Agua, electrificación rural, demandas de pequeñas potencias, pueden agruparse y formar parques eólicos conectados a la red. (Javier Mendez, 2007)

### **Energía de los océanos**

En los océanos se puede encontrar dos tipos de energía, la energía mareomotriz y la energía térmica; la primera se debe al calentamiento más intenso del sol en la superficie que en el fondo de este, por lo que se crean las altas mareas, la segunda se debe a que los océanos ocupan cerca del 70% de la tierra y por tanto son los que más radiación

solar reciben, además el viento arrastra grandes cantidades de agua produciéndose el oleaje que también puede ser aprovechada por medio de columnas oscilantes (UPME, 2003).

### **Energía geotérmica**

Debajo de la corteza terrestre se encuentra el magma, la cual es una roca líquida caliente, que supera temperatura de  $3^{\circ}\text{C}$  por cada 100 metros por debajo de la superficie. Por esta razón en algunas zonas del mundo es posible encontrar aguas termales, porque el agua pasa por algunas rocas muy calientes. Esta energía se puede aprovechar extrayendo el vapor o el agua caliente que existe a profundidades bastante grandes, lo que permite hacer girar turbinas, para tener energía mecánica y así generar energía eléctrica. Los métodos más comunes son: ciclo con unidades de contrapresión, ciclos con unidades de condensación, ciclo combinado (UPME, 2003).

### **Energía de Biomasa**

Este tipo de energía puede ser encontrada en cualquier material proveniente de la tierra, ya que estas reciben la energía que proviene del sol, por lo que puede ser transformada en electricidad, químicos o servir de alimentos para los animales. Los animales y humanos se alimentan de las plantas recibiendo esta energía por lo que, al producir los residuos orgánicos, estos generan gases, que puede ser transformado en electricidad.

Se puede afirmar que la Biomasa es: “*Cualquier material proveniente de organismos vivos tales como vegetación, bosques, selvas, cultivos acuáticos, bosques naturales, residuos agrícolas, desechos animales y desechos urbanos e industriales de tipo orgánico que puede utilizarse para producir energía*”. (Unidad de Planeacion Minero Energetico, 2012)

La biomasa puede ser transformada en energía eléctrica, fuerza motriz, energía térmica o combustibles, a partir de alcoholes, aceites, plantas de digestión de residuos, madera que pueden ser transformados en biogás, combustibles para calefacción, sustitutivos de Diésel y gasolina. (Javier Mendez, 2007).

En Colombia se ha explorado la obtención de biocombustibles con bagazo de caña, maíz, cascarilla de arroz (Cardona, Sanchez, Montaya, & Quintero, 2016) y palma de moriche (Forero, GNECCO, & Torres, 2016). Sin embargo, son indispensable más estudios de otros materiales o desechos orgánicos que pueden tener potenciales altos de energía en Colombia.

### **Biomasa**

El sol es la principal fuente natural para formación de todos los recursos que se denominan biomasa como también en las demás energías renovables, por medio de la fotosíntesis se almacena grandes cantidades de energía en las plantas, las cuales son consumidas por animales y seres humanos, de lo que se generan desechos que almacenan energía y que pueden ser aprovechados.

La biomasa fue la primera energía descubierta por la humanidad ya que por medio de la madera de los arboles es posible producir luz y calor, el uso de esta energía se realizaba desde la prehistoria por medio de la combustión directa. Normalmente se utilizaba para la cocción de alimentos y para protegerse del frío, hasta la revolución industrial, donde se empezó a utilizar para generar calor. (Renovetec, 2013).

La biomasa es todo tipo de materia orgánica que proviene de la tierra, puede tener origen vegetal, animal o microbiano, aguas residuales y fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (San Miguel, 2015), lo que representa una gran cantidad de materiales que contienen energía y que a su vez pueden ser utilizados como fuente de energía.

Cuando esa energía contenida en materiales de origen biológico se transformar se puede obtener bioenergía, *“La bioenergía es la energía que se obtiene a partir de biomasa, que es la materia organiza originada en un proceso biológico, espontaneo o provocado, utilizable como fuente de energía”*. (Castells X. E., Biomasa y Energía, 2012).

Esta energía fue reemplazada progresivamente con la masificación de los combustibles fósiles, como consecuencia del uso proliferado, el planeta se encuentra con

altos niveles de contaminación debido al uso del carbón, petróleo, gas, entre otros y agotamiento de los recursos minerales (Cardona C. , 2009).

Al estudiar Thanatia (figura 6), nos presenta una visión termodinámica del agotamiento de los recursos minerales en el mundo, este es el nombre que se le da al tiempo en el que se prevé el agotamiento de los recursos minerales sobre la tierra (año 2154), a partir de la segunda ley de la termodinámica. (Luis Gabriel Carmona, Kai Whiting, 2014).

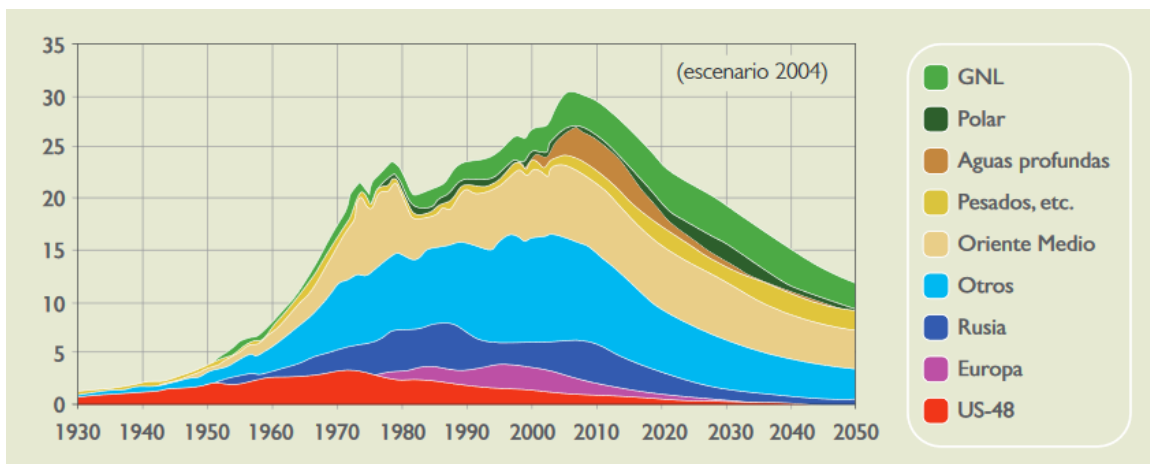


Figura 6. Pico de producción de petróleo y gases líquidos. (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008).

**Fuente:** (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008).

*“El sistema energético actual esta fundamentalmente basado en los combustibles fósiles. El ritmo de consumo es tal que en un año la humanidad consume lo que la naturaleza tarda un millón de años en producir, por lo que el posible agotamiento de las reservas existentes es una realidad que no admite discusión”* (Instituto Tecnológico de Canarias, S.A., 2008).

El ser humano ha encontrado en la tierra una gran mina en la que realiza extracción de minerales y fósiles de manera exponencial a través de los años, hace uso de estos, los dispersa por la tierra, causando agotamiento de los recursos, desolación de bosques o destrucción de ecosistemas, contaminación del agua y de la atmosfera, lo que lo hace el único responsable de la aceleración de los ciclos naturales, causando daños irreparables que no pueden ser sustituidos (Capilla, 2014).

El agotamiento de los recursos minerales obliga a que los seres humanos cambien su comportamiento y la forma de consumir, de tal manera que reutilicen sus recursos y postergue por el mayor tiempo posible el final. Esta situación también ejerce presión sobre la población para buscar alternativas para obtener energía de una manera diferente.

La biomasa se convierte en la energía del futuro por la posibilidad de reutilizar lo que desecha, ya que esto es un proceso directo del consumismo, es decir, que tiene un comportamiento cíclico, minimizando contaminación y daños irreparables en el medio ambiente. Estos beneficios mencionados son una oportunidad de hacer que los recursos no solo se desechen, sino que se reutilicen (siendo la biomasa un 90% reutilizable) dándole un uso cíclico y productivo (Perez-Rincón, 2015). El mayor potencial de biomasa se concentra en zonas rurales, lo cual se puede visionar como desarrollos energéticos y económicos en zonas apartadas (Javier Mendez, 2007).

*“El desarrollo de nuevas industrias de bioenergía podría proporcionar servicios de energía limpia a los más de 2400 millones de personas que recurren a la biomasa*

*tradicional para sus necesidades energéticas y a los 1600 millones sin acceso alguno a la electricidad”.* (Castells X. E., Biomasa y Energía, 2012).

Esta visión genera impactos en sociedades apartadas, en las que no se cuenta aún con energía eléctrica. Cabe resaltar que, si la producción agrícola se ve como una fuente directa de producción de energía, tendría repercusiones negativas sobre el medio, de ahí los avances en desarrollo de algas para la generación de energía.

Existen muchas tecnologías para poder obtener energía de las diferentes materias primas que existen como son: combustión, gasificación, pirolisis, digestión anaeróbica, hidrolisis, fermentación y transesterificación. Todas estas tecnologías permiten que se obtengan biocombustibles, incentivando a que haya una diversificación en el mercado y menos dependencia del petróleo (Cerdá, 2015).

**Tipos de materiales.**

Se llama biomasa todo material orgánico que fue originado en un proceso biológico, espontaneo o provocado, utilizable como fuente de energía. Biomasa puede provenir de materiales naturales o residuales.

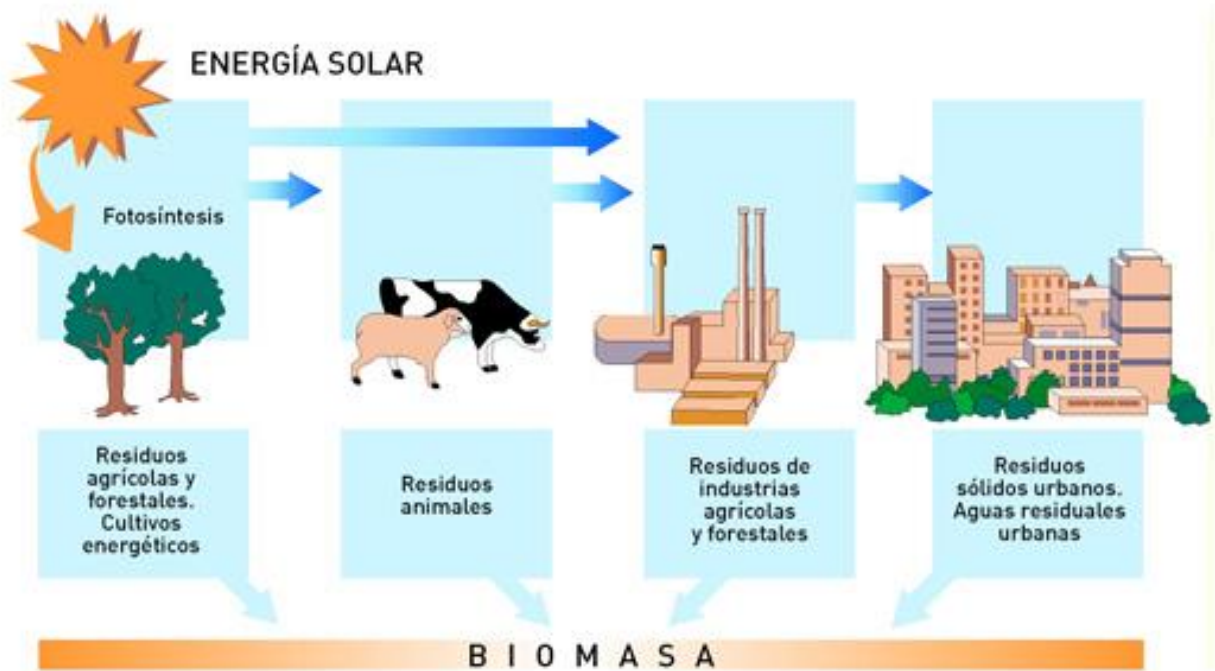


Figura 7. Generación de biomasa.

**Fuente:** (Heura Expertos en Medio Ambiente, 2012).

**Biomasa natural.**

Esta proviene de la madera de las plantas y todo aquel material que no haya pasado por procesos o transformaciones químicas.

**Biomasa residual.**



Es todo el material natural que haya tenido transformaciones, en las que se puede encontrar Residuos agrícolas, forestales, industriales agrícolas o agroalimentarias, de industrias forestales, ganaderas y urbanos.

### Cultivos energéticos.

Consiste en cultivos destinados a la producción de energía como son especies leñosas, especies herbáceas, cultivos para producir etanol (trigo, maíz, batata, sorgo azucarero), cultivos para producir biodiesel (girasol, lino oleaginoso, colza).

### Excedentes agrícolas.

Sirven para complementar los cultivos no alimentarios y sustituir parcialmente los biocarburantes y los combustibles fósiles (aceite de algodón, aceite de soja, aceite de cártamo). (Castells X. E., Biomasa y Energía, 2012).

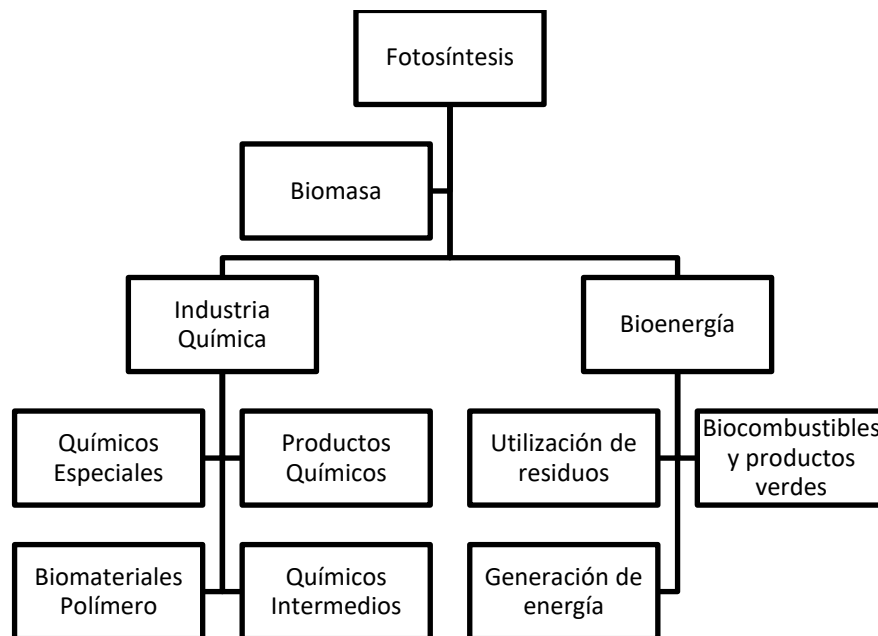


Figura 8. Esquema de aplicaciones generales de la biomasa.

**Fuente:** (Castells X. E., Biomasa y Energía, 2012) Adaptada por Reyes Wendy 2018.

**Tecnologías.**

Existen varias tecnologías para convertir la energía contenida en biomasa y ser transformada en otro tipo de energía, como puede ser energía eléctrica, fuerza motriz o energía térmica.

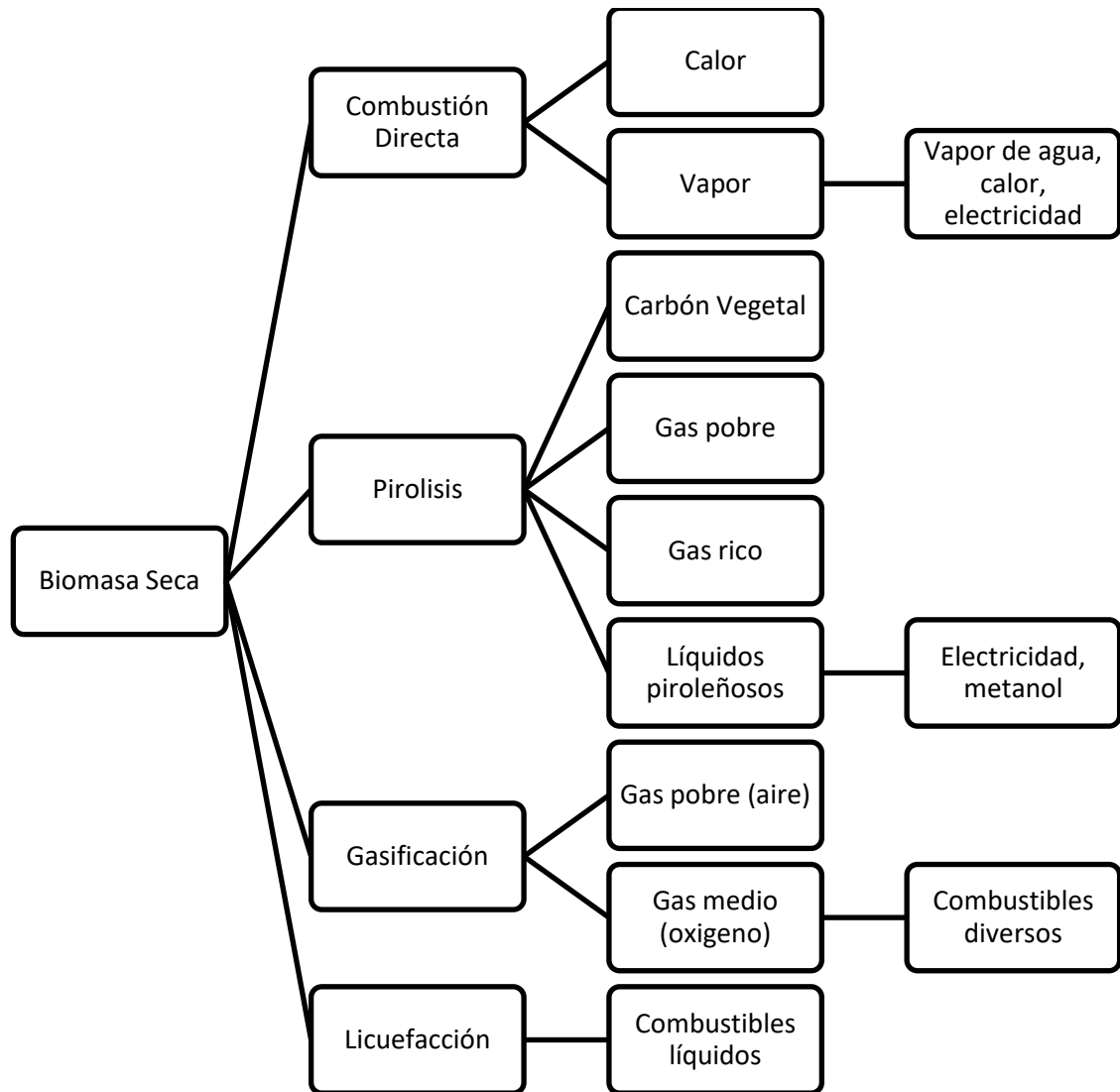
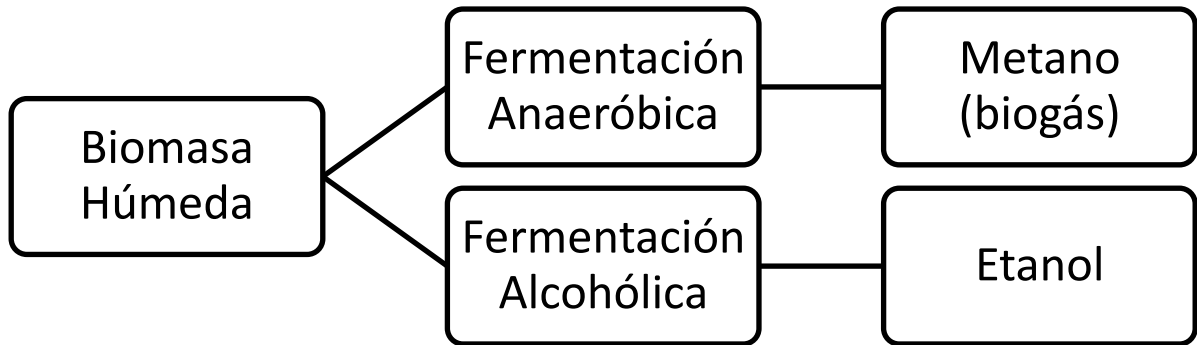


Figura 9. Procesos termoquímicos de transformación energética de la biomasa.

**Fuente:** (San Miguel, 2015). Adaptada por Reyes Wendy 2018.

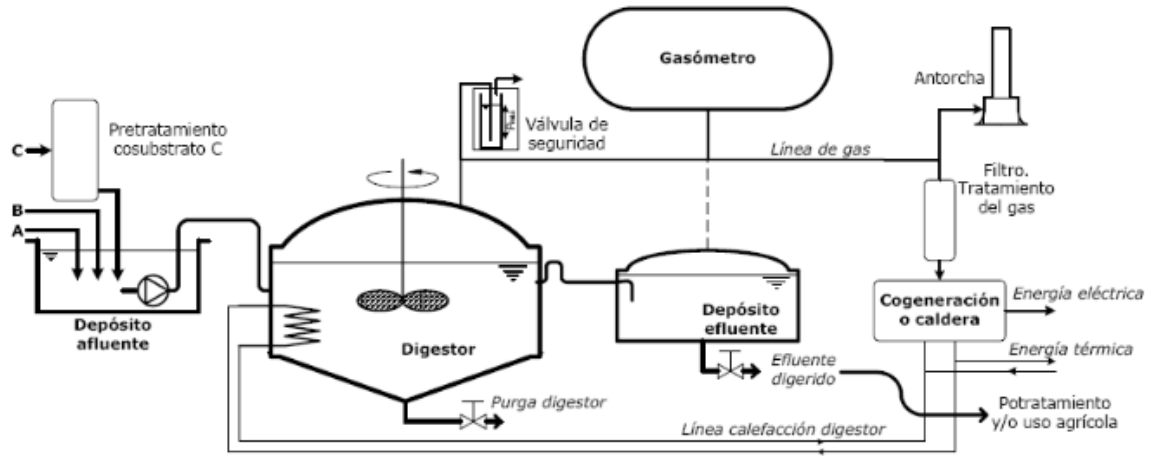


*Figura 10.* Procesos bioquímicos de transformación energética de la biomasa.

**Fuente:** (San Miguel, 2015). Adaptada por Reyes Wendy 2018.

**Digestión anaeróbica.**

Esta tecnología consiste en la descomposición de material (biodegradable, residuos animales y vegetales) sin oxígeno, lo que hace que se genere biogás y lodo fertilizante, para la aplicación de esta tecnología es necesario realizar la recolección de residuos, reactores (digestores), almacenamiento para el gas y el fertilizante y tuberías para transportar el biogás (Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación, 2013).



*Figura 11.* Esquema de funcionamiento de planta de generación de biogás por medio de digestión anaeróbica

**Fuente:** (Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentación, 2013).

Se han realizado investigaciones para obtener biogás de residuos agrícolas, que puede transformarse en electricidad y calor en plantas de cogeneración o mejorarse para convertirse en biocombustible. En Brasil se adelantan estudios para implementar esta tecnología con granos de café y microalgas (Passos, Miranda, Lobo, De Aquino, & Perez, 2017).

**Gasificación.**

Son procesos termoquímicos por los que atraviesa materia prima solida o liquida (residuos agrícolas, carbón vegetal, plástico, entre otros), para convertirse en una mezcla de gases (hidrogeno, monóxido de carbono y metano), esta mezcla de gases sirve como combustible en plantas de generación térmica de ciclo combinado. (Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentacion, 2013)

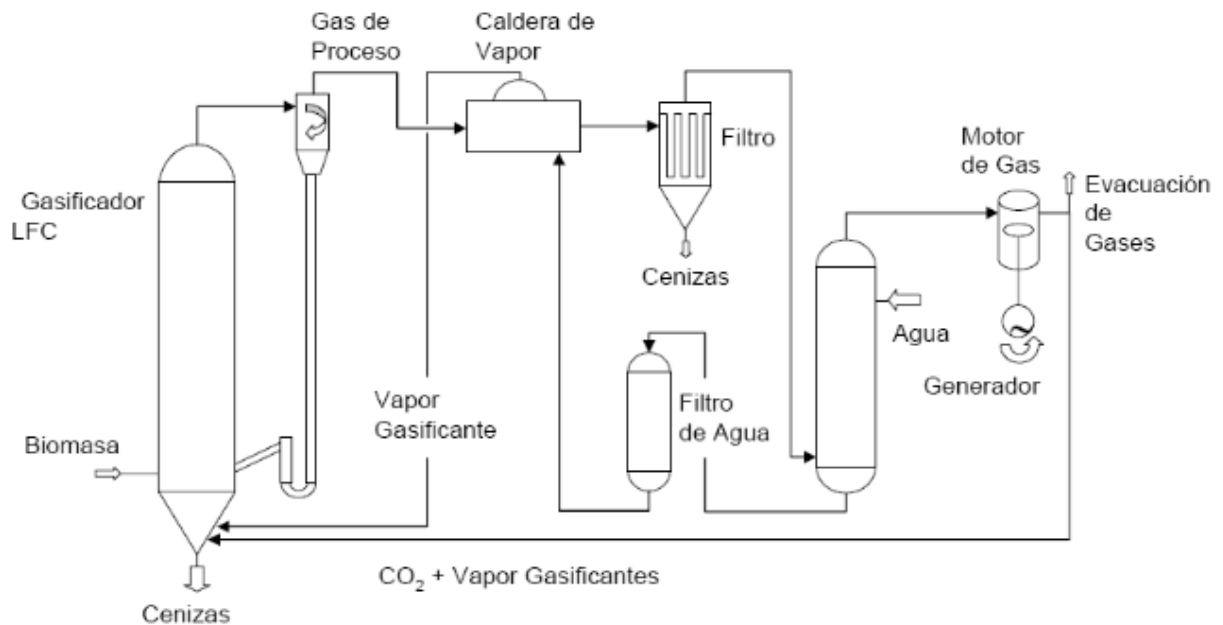


Figura 12. Esquema de funcionamiento de planta de gasificación.

**Fuente:** (Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentacion, 2013)

Esta tecnología es muy conveniente porque produce menos emisiones contaminantes con una mayor eficiencia de generación de energía eléctrica y térmica. El combustible generado está compuesto principalmente de Carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrogeno (H<sub>2</sub>) y metano (CH<sub>4</sub>). En Irán se han adelantado estudios para

realizar gasificación con madera, papel, desechos sólidos urbanos y aserrín, para determinar el potencial de biomasa compuesta (Shayan, Zare, & Mirzaee, 2017).

**Combustión.**

La combustión es una de las tecnologías utilizadas desde la antigüedad por los humanos para generar calor, luz y para generar energía. Esta consiste en quemar materiales orgánicos como son madera, paja, aserrín, virutas, pasto, residuos agropecuarios y madera reciclada. Esta alternativa permite varios usos, como es aprovechar el biocombustible que se genera de la combustión, utilizar el vapor que resulta si de la materia orgánica quemada en una caldera, se introduce en una turbina y más tarde se genera energía eléctrica. En Colombia su uso se hace a pequeña escala, ya que solo se usa en el sector azucarero y panelero (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2016).

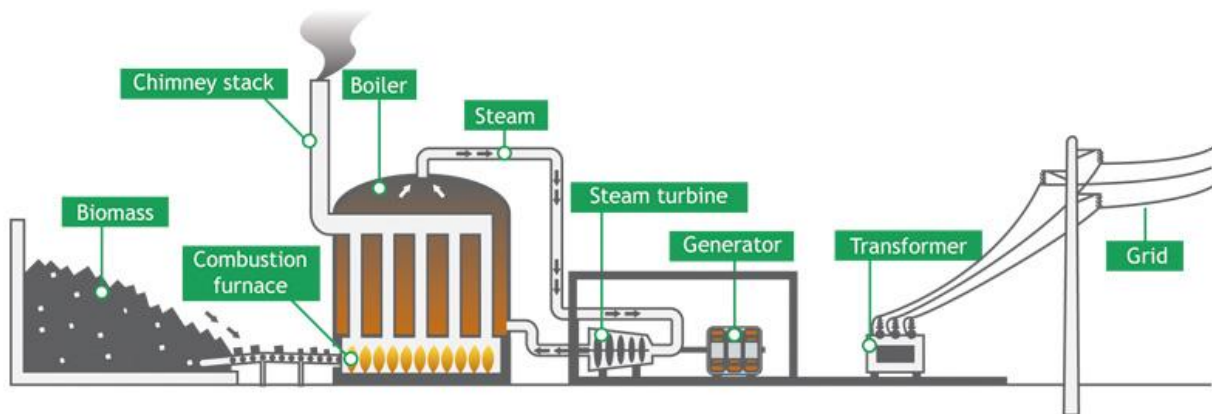


Figura 13. Esquema de funcionamiento de planta de combustión.

**Fuente:** (GSE, 2014).

Esta tecnología presenta problemas por la cantidad de material volátil que se genera en la combustión, sin embargo, se han llevado a cabo estudios para realizar combustión con hidrogeno y a la vez minimizar emisiones y materia volátil (Lazaroiu, y otros, 2017).

**Fermentación alcohólica.**

Por medio de este proceso es posible obtener bioetanol, realizando fermentación de los hidratos que se encuentran en las plantas, para lo cual se usa azúcares principalmente, incluyendo otras materias primas como son melazas de caña, almidón de trigo y residuos de papa. (Unidad de Planeación Minero Energética, 2012). El proceso consiste obtener jugos azucarados fermentables a base de pentosas y hexosas para la producción de alcohol, algunos de estos procesos necesitan etapas previas de hidrólisis. (San Miguel, 2015).



Figura 14. Esquema de funcionamiento de planta de generación de bioetanol.

Fuente: (Wordpress, 2013)

Existen estudios para realizar la fermentación con microondas de tal manera que se aumente la temperatura de la mezcla, así mismo la reacción de fermentación y la



cantidad de energía producida, de esta manera se mejora el proceso de esta tecnología (Calinescu, Vlaicu, Chipurici, Ighigeanu, & Lavric, 2018).

**Esterificación.**

Es la tecnología más apta para la obtención de biocombustibles como es el biodiesel, consiste en extraer el aceite vegetal contenido en semillas de girasol, colza, soja y semilla de cardo, frutos como el coco y la palma entre otros. Ese aceite extraído es pasado por procesos químicos hasta convertirse en éster metílico y luego en biodiesel (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria).

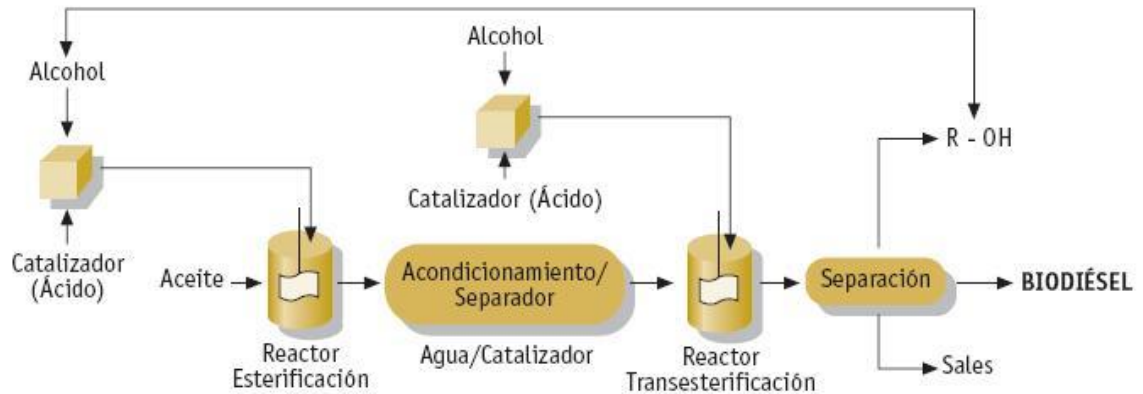


Figura 15. Esquema de funcionamiento de la esterificación.

**Fuente:** (Biodiesel ingenieros, 2010)

Esta tecnología utiliza el glicerol para convertir en diferentes tipos de combustible, así es económicamente viable para obtener biodiesel con el glicerol de algunos residuos vegetales (Mallesham, Govinda, & Reddy, 2016).

**Pirolisis.**

Este método se lleva a cabo realizando calentamiento de materia orgánica (residuos agrícolas y forestales, residuos sólidos urbanos) en ausencia del oxígeno. De este proceso es posible obtener aceite líquido, carbón vegetal y combustible gas. El combustible líquido es posible utilizarlo como petróleo para generar electricidad, aunque esto aún se encuentra en investigación (Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria).

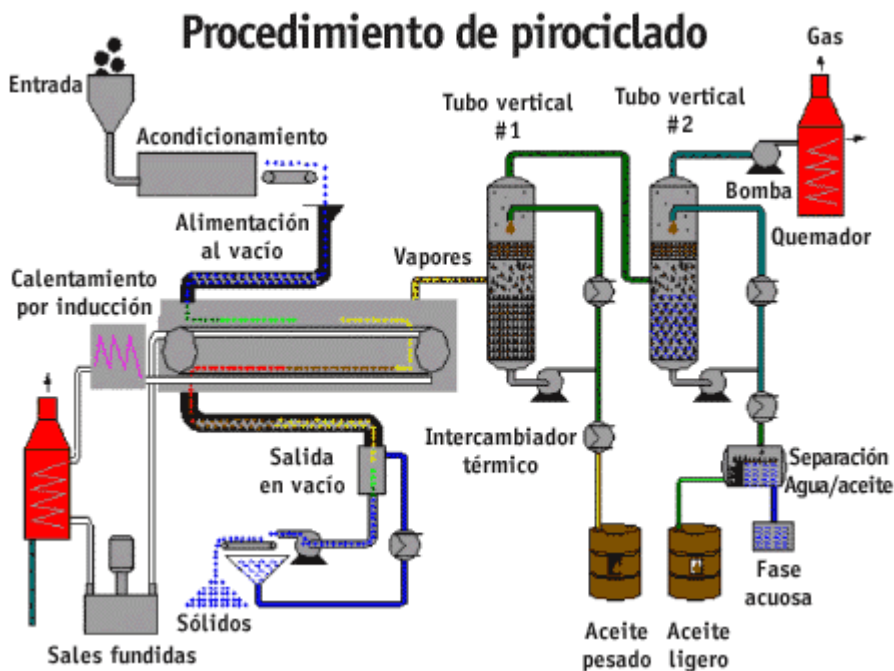


Figura 16. Esquema de funcionamiento de la pirolisis.

**Fuente:** (Adrian, 2014)

Otros procesos son la “destilación seca” o “destructiva” en la que se utilizan niveles de calentamiento para minimizar la producción de líquidos. Antes eran utilizadas para producir carbón vegetal para uso doméstico, componente de tintas y medicinas. Actualmente se utiliza para la producción de gases, líquidos y sólidos, especialmente para bio-aceite (Machado, 2010).

Tabla 1. Tecnologías para aprovechar potencial energético de la biomasa.

<b>Tecnologías Maduras</b>	<b>Tecnologías en desarrollo</b>	<b>Tecnologías emergentes</b>
Combustión de leña, briquetas y pellets para uso doméstico e industrial.	Combustión de madera en centrales eléctricas y redes de calefacción	Hidrólisis de lignocelulosas (sacarificación, fermentación y destilación)
Biogás de vertederos urbanos y digestores de lodos de depuración	Gasificación de madera y paja para generación de electricidad	
Fermentación alcohólica y destilación con productos agrícolas	Cogeneración con biomasa tradicional o gases	Pirólisis, gasificación y Conversión a hidrocarburos e hidrógeno
Esterificación de aceites vegetales para vehículos diésel	Mecanización de residuos para biogás	

**Fuente:** (San Miguel, 2015).

En la tabla 1, se muestran las diferentes tecnologías que existen y las que se encuentran en desarrollo como ya fueron explicadas anteriormente. La biomasa está relacionada con los procesos térmicos porque es la forma más fácil y rápida de extracción de energía. La combustión directa es una de las tecnologías más usadas para generar energía eléctrica y térmica. Los otros procesos mencionados se utilizan más para generación de gases y líquidos que sirvan como biocombustibles.

**Uso final.**

La biomasa se puede encontrar en todos los ámbitos de la vida diaria, ya que esta proviene de la tierra y puede ser encontrada en cada una de los objetos o herramientas que se utilizan día a día. Sin embargo, se catalogan 3 sectores:

**Sector doméstico.**

En algunos hogares, aun se utiliza la leña como fuente de energía para realizar cocción de alimentos, este uso es más contaminante y eficiente, aparte de que su costo es muy bajo o nada, porque es un elemento que se encuentra disponible en el medio. Sin embargo, es una de las causas de la deforestación.

**Sector industrial.**

En este sector el uso de la biomasa es para producir calor que permita secar productos agrícolas. Otro de los usos es para generar gases que sirvan de combustión y de este modo generar turbinas y así poder generar energía eléctrica.

**Sector comercial.**

En el sector comercial al igual que el doméstico se usa para restaurantes, en donde se quema leña y así producir fuego para la cocción de alimentos.

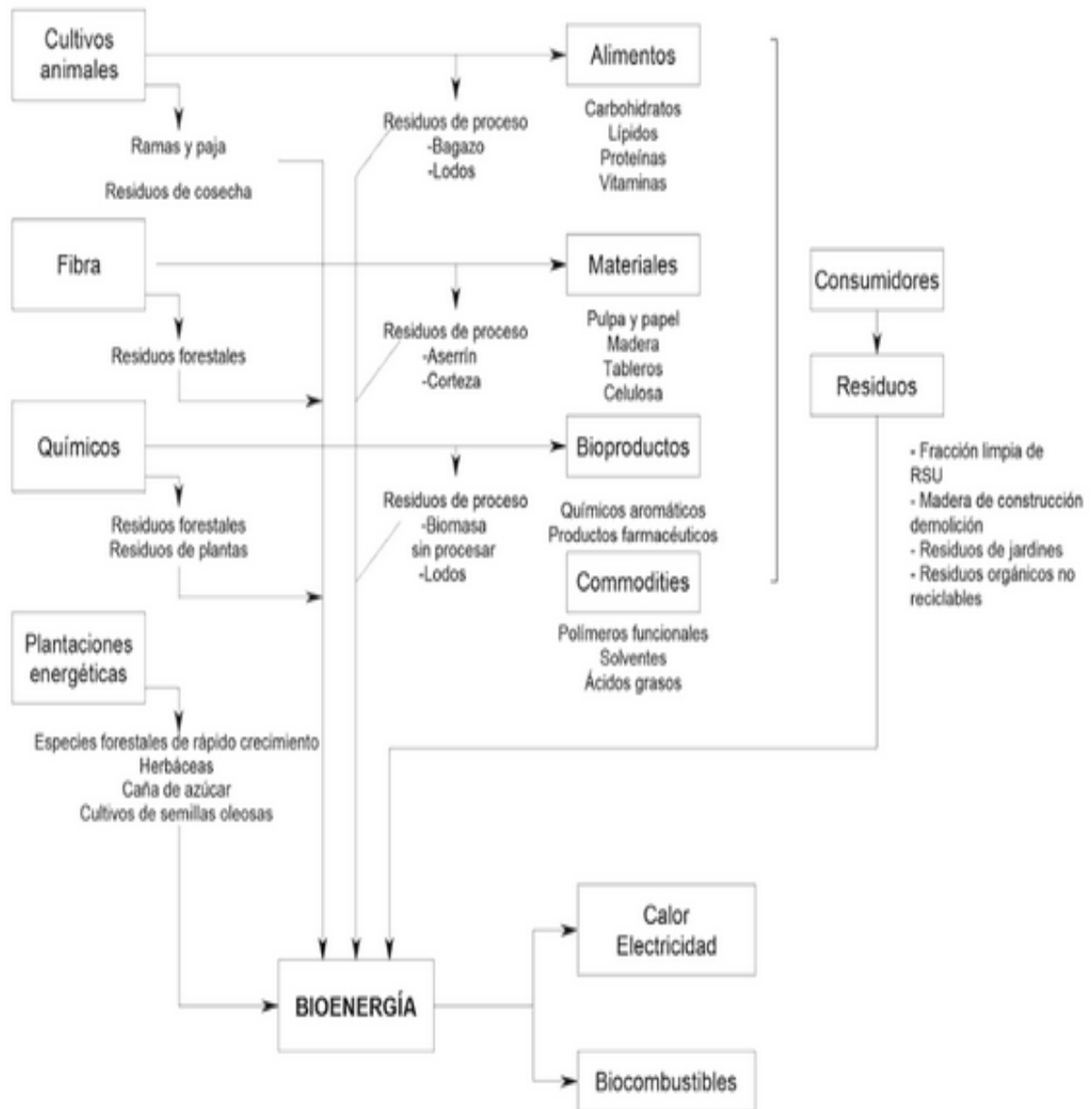


Figura 17. Procesos generales de generación y aprovechamiento de la biomasa.

**Fuente:** (Castells X. E., Biomasa y Energía, 2012).

En la figura 17 se puede ver los diferentes tipos de biomasa y la posibilidad de transformación que posee cada uno para obtener energéticos a partir de estos. Lo cual es

posible por las diferentes tecnologías que se han desarrollado a parte de la combustión directa.

### Matriz Energética colombiana

La matriz energética colombiana ha venido pasando por un proceso de fortalecimiento, hecho que se ve reflejado en el crecimiento económico colombiano porque fue la única economía de Latinoamérica que consiguió superar su crecimiento promedio (4.8%) con relación a la década anterior (4%).

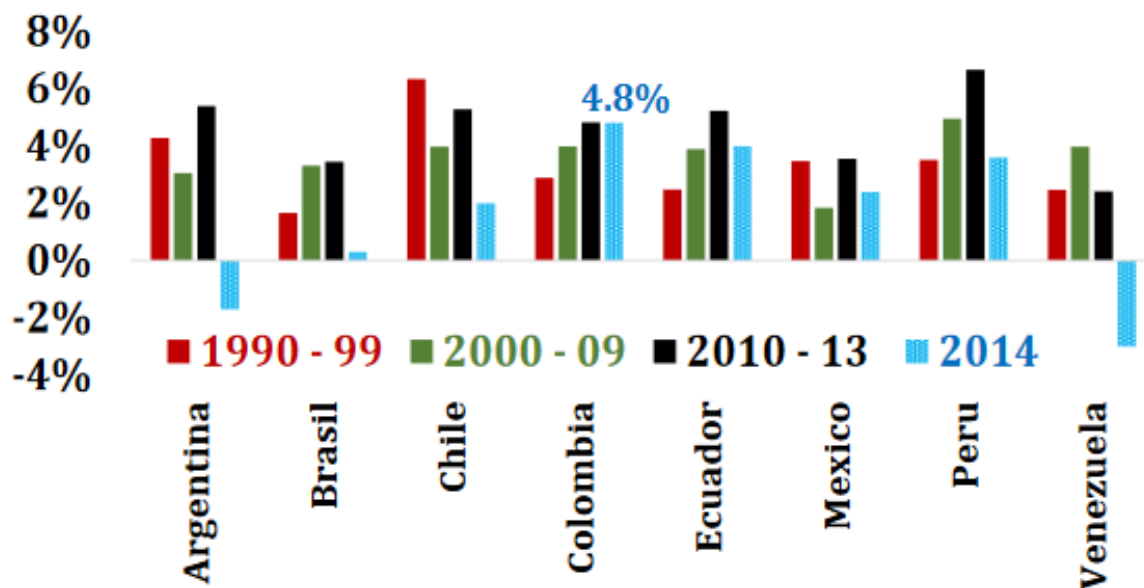


Figura 18. Crecimiento Económico Latinoamérica.

Fuente: (UPME, 2015).

Este fortalecimiento se ha realizado basado en generación hidráulica (63.9%) y térmica (26.3%) como se muestra en la figura 1, por eso es un sistema vulnerable por los ciclos hidrológicos que vive el país. Colombia cuenta con grandes potenciales en otras fuentes de energía, sin ser explorado demasiado hasta ahora, razón por la que en el plan energético para el 2050 se introducen fuentes de energía no convencionales de tal forma



que se reduzca la vulnerabilidad por tener dependencia de hidrocarburos, se diversifique la oferta y se reduzca la vulnerabilidad a consecuencias del cambio climático. Para esto, se requiere de una política energética para una correcta diversificación de la oferta.

En Brasil existe generación distribuida en localidades aisladas, con la finalidad de proveer el servicio de energía eléctrica (Pottmaier, y otros, 2012). El concepto de energía distribuida debe ser adoptado por Colombia para que exista una correcta diversificación de la canasta de energía, además de adopción de nuevas tecnologías, equipos diseñados para trabajar con combustibles alternativos e inversión en infraestructura para plantas no convencionales.

La ley 1715 fue el primer paso para integrar otras fuentes de generación, debido a que promueve la integración de FNCER, tecnologías como eólica, solar fotovoltaica, geotérmica y a partir de biomasa.

Las FNCER también resultan muy útiles para ser producidas a pequeña escala y que sirvan de apoyo en las ZNI, como generación distribuida, de esta manera un mayor número de personas en zonas apartadas podrá contar con energía, a continuación, se detallaran algunas legislaciones que dan paso a pequeñas centrales de generación.

**Legislación para pequeñas centrales de generación****Decreto 348**

Según el decreto número 348 del Ministerio de Minas y Energías de la Republica de Colombia de 1 de marzo de 2017, para el lineamiento de política pública en materia de gestión eficiente de la energía y entrega de excedentes de autogeneración a pequeña escala.

En el artículo 2.2.3.2.4.8 se establece que: “Las auto generadoras a pequeña escala con capacidad instalada menor o igual a 0.1MW (100kW) no tienen la obligación de suscribir un contrato de respaldo de disponibilidad de capacidad de red”. (Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia , 2017). Lo que autoriza que generadoras mayores a 0.1MW no tienen la obligación de suscribirse a un contrato de respaldo, pero pueden vender su exceso de energía en caso de tenerla.

**Resolución 032**

Según la resolución número 032 del Ministerio de Minas y Energías de la Republica de 28 de febrero de 2001. Aquí se establece que las plantas menores de 10MW no pueden entrar al despacho central y no pueden participar en el mercado mayorista de electricidad, sin embargo, su energía puede ser comercializada.

También establece que las plantas menores de 10MW y mayores 20MW pueden entrar al mercado mayorista y en caso de que no sea así también pueden comercializar su energía, con operadores de red. Cabe resaltar que en la resolución existen condiciones

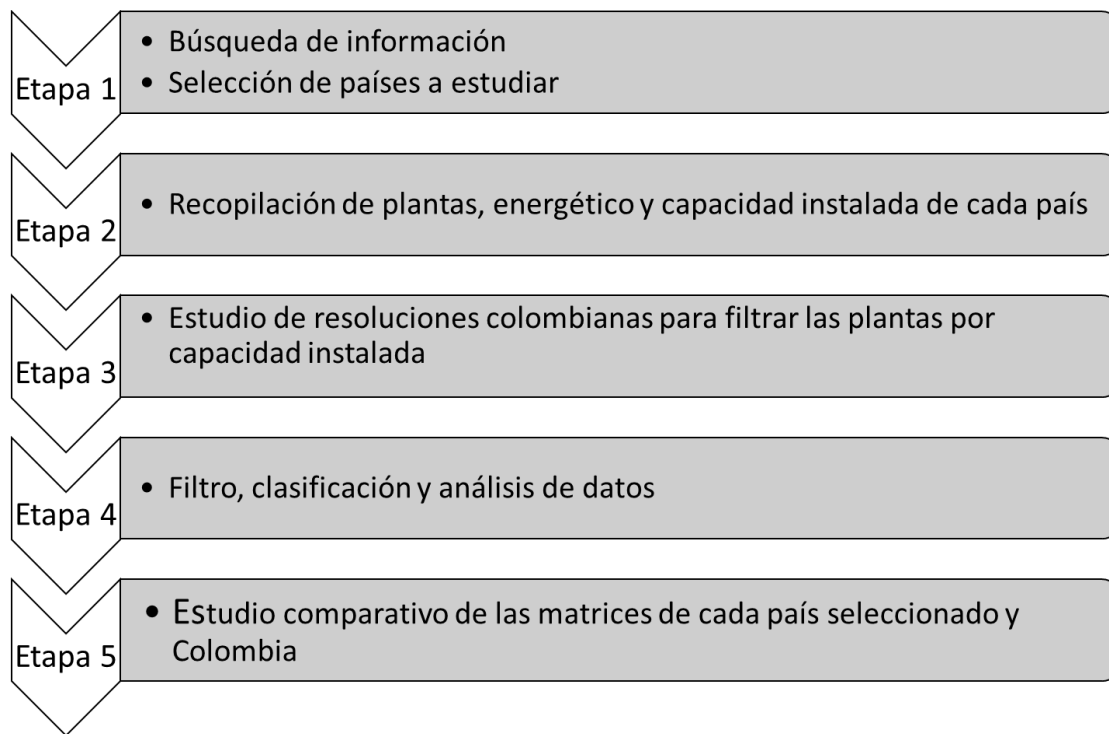
para que esto se cumpla. (Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia, 2001).

Por lo anterior se realiza una división de la información recopilada teniendo en cuenta solo plantas mayores de 10MW, ya que a partir de esa cantidad de MW empiezan a participar en el mercado mayorista de energía eléctrica del país.

### Capítulo 3

#### Metodología de estudio

En este capítulo se describen las etapas y procesos que se realizaron para determinar las mejores prácticas para el uso de la energía de la biomasa en Colombia. Para el desarrollo del proyecto se realizaron los procesos que serán descritos a continuación y se puede ver un esquema de ellos en la figura 19.



*Figura 19.* Etapas de descripción de prácticas para usar la energía de biomasa en Colombia.

**Fuente:** Realizado por Reyes Wendy 2018.

**Etapas 1**

En esta etapa se realizó búsqueda en bases de datos sobre los países con mayor cantidad de producción de biomasa alrededor del mundo. Los países que se han seleccionado para la investigación son Brasil, Chile, Estados Unidos, El Salvador, Guatemala, Honduras Nicaragua, Alemania, Austria, Escocia, Filipinas, Finlandia, Francia, Japón, Suecia, Tailandia e Inglaterra. Estos países se encuentran en tres continentes diferentes, América, Europa y Asia.

**Etapas 2**

En esta fase, se inicia la recopilación de datos en base a los países anteriormente mencionados. La búsqueda de información se inicia en bases de datos de cada país y en páginas oficiales de plantas generadoras. La búsqueda de información se hizo en base a dos pilares que son: Material Energético y capacidad instalada de la planta.

**Etapas 3**

En esta etapa se identifican las diferentes resoluciones que servirán como base para selección de las plantas, clasificación y caracterización. De acuerdo con la resolución 032 de 2001, se decide elegir las plantas superiores 10MW de generación. Esta decisión se hace porque las plantas con menor capacidad instaladas no participan en el mercado spot mientras que las plantas de media y alta capacidad de generación si pueden.

**Etapas 4**

Los datos se organizaron de acuerdo con el tipo y estado del material. La información fue procesada y estructurada, de tal forma que la información quedara más explícita y de fácil análisis.

**Etapas 5**

A partir del análisis hecho, se investiga sobre la matriz energética de cada uno de los países y como ellos han logrado introducir la generación con biomasa. Luego, se compara con Colombia, teniendo en cuenta la matriz energética y los potenciales de biomasa. Este análisis permite determinar cuáles son las condiciones más favorables y de qué manera Colombia puede introducir la biomasa en su canasta energética.

## Capítulo 4

### Resultados de estudio

Se inició con la investigación y búsqueda de información de diferentes países que generaran energía eléctrica o térmica usando como combustible o materia de combustión la energía de la biomasa. En esta búsqueda de información se encontró que los países que mayor potencial energético posee son:

*Tabla 2.* Capacidad instalada de biomasa por país.

**Fuente:** Realizado por Reyes Wendy 2018.

País	Capacidad Instalada (MW)
Brasil	13867,8
Estados Unidos	7856,415
Suecia	2197
Finlandia	1990
Inglaterra	1890
Francia	1612
Japón	503
Filipinas	430
Chile	422
Tailandia	321
Escocia	118,8
Guatemala	107,2
Nicaragua	79
Austria	49
El Salvador	43
Honduras	43
Alemania	26,2

A partir, de esa búsqueda de información se creó una base de datos de las diferentes plantas de biomasa que poseen los países antes mencionados para mayor manejo de la información, en donde se establecieron 2 grandes grupos clasificados como América y Euro – Asia (los 3 continentes investigados) de esta manera clasifíco la información y se realizaron filtros teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Energético utilizado: se refiere al tipo de material que utilizan para generar energía que puede ser de origen forestal, animal, urbano y agrícola
- Estado de la materia: en esta clasificación se encontraban materiales en estado sólido, líquido o gaseoso
- Potencial energético generado por la planta: la capacidad instalada que posee cada planta con la que cuenta el país estudiado.

En (Cerdá, 2015) se observa los tipos de biomasa que se obtienen con residuos que se clasifíco según la procedencia:

- Forestal: en esta categoría están todos los materiales que provienen de bosques o que no haya tenido ningún tipo de transformación.
- Animal: son todos los residuos que provienen de animales
- Agrícola: son todos los residuos de cultivos no alimentarios
- Urbanos: estos residuos se generan producto del consumo humanos en sectores urbanos.



Los cuales a su vez se encuentran en diferentes estados como se muestra en (Perez-Rincón, 2015):

- Solido: estos residuos implican basura en estado rígido, producto de actividades domésticas y comerciales.
- Liquido: estos residuos se encuentran en estado líquido de materia y son procedente de residencias, industrias, comercio, entre otros. También se conoce como aguas residuales.
- Gas: los residuos gaseosos son producto de la extracción o transformación del material con el fin de generar energía.

Se seleccionaron plantas que generaran potenciales energéticos superiores a 10MW, con base en la legislación colombiana, se tuvo en cuenta las plantas con capacidades medias y grandes.

A partir de la clasificación realizada, la información fue organizada, tabulada y resumida para analizar de manera más sencilla la cantidad de plantas existentes por país estudiado y el potencial energético que posee cada país analizado como se muestra a continuación:

**América***Tabla 3. Plantas generadoras según tipo de residuos en países de América.*

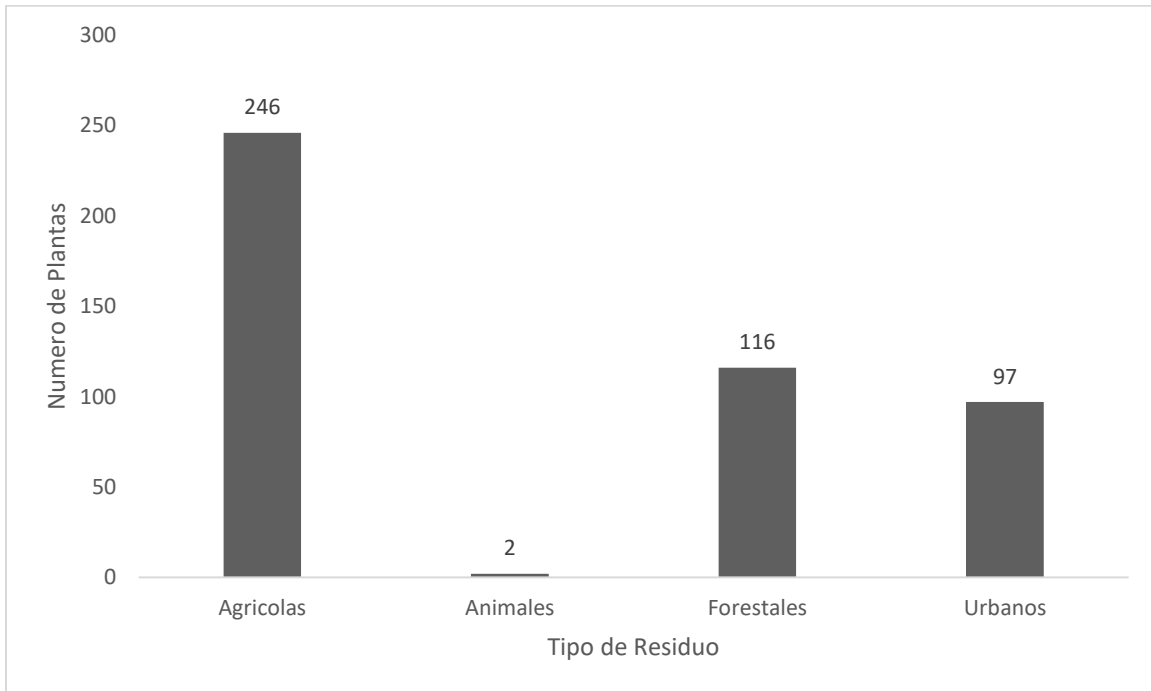
	Tipo de Residuo						Total
	Agrícolas	Animales	Forestales		Urbanos		
Países de América	Solido	Solido	Liquido	Solido	Gas	Solido	
Brasil	223		15	14	5		257
Chile	2			4			6
EE. UU.	13	2		83	1	91	190
El salvador	2						2
Guatemala	4						4
Honduras	1						1
Nicaragua	1						1
Total	246	2	15	101	6	91	461

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 3 se observa el grupo de países que hacen parte de América, se tabulan las plantas que posee cada país superior a 10MW con características semejantes, organizadas según el tipo de residuo y estado de la materia utilizado por cada uno. Brasil es el país con mayor número de plantas, con un total de 257 plantas las cuales en su mayoría son a base de residuos sólidos agrícolas y principalmente utilizan como combustible la caña de azúcar como se muestra en el anexo 1, esto se debe a que es un país con una política agrícola bastante fuerte y ha vislumbrado oportunidades en los residuos generados por este sector.

Le sigue Estados Unidos con 190 plantas, en donde prevalece la utilización de Residuos sólidos urbanos, en relación con ser uno de los países con las ciudades más grandes del mundo. Los países con menor número de plantas son El Salvador, Honduras

y Nicaragua, porque recientemente impulsan la generación con energía por medio de biomasa, son países con área territorial más reducida y con menor población.



*Grafico 1.* Tipo de residuo utilizado por número de planta.

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En el grafico 1, se presenta una clasificación de la cantidad de plantas Vs tipo de residuo. Se observa que el material energético más utilizado en 246 plantas es de origen agrícola seguido por forestal, urbano y animal. Los resultados obtenidos están relacionados a que en los países estudiados de América predomina mucho el sector agrícola, también poseen muchas zonas de bosques y por tanto residuos forestales.

Tabla 4. Número de plantas según estado de la materia.

Países de América	Estado de la Materia			
	Gas	Liquido	Solido	Total
Brasil	5	15	237	257
Chile			6	6
EE. UU.	1		189	190
El salvador			2	2
Guatemala			4	4
Honduras			1	1
Nicaragua			1	1
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>15</b>	<b>440</b>	<b>461</b>

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 4, se observa que el estado de materia más utilizado es el sólido, debido a su fácil transporte y mayor producción de residuos con estas características, además, se resalta que solo dos países utilizan estados de material diferente al sólido como son: Brasil utiliza gas de rellenos sanitarios de RU y licor negro que lo obtiene de residuos forestales, estos estados son utilizados en menor cantidad que sólido. Estados Unidos posee una planta que genera con gas producto de gas de relleno sanitario, residuos madereros y neumáticos.

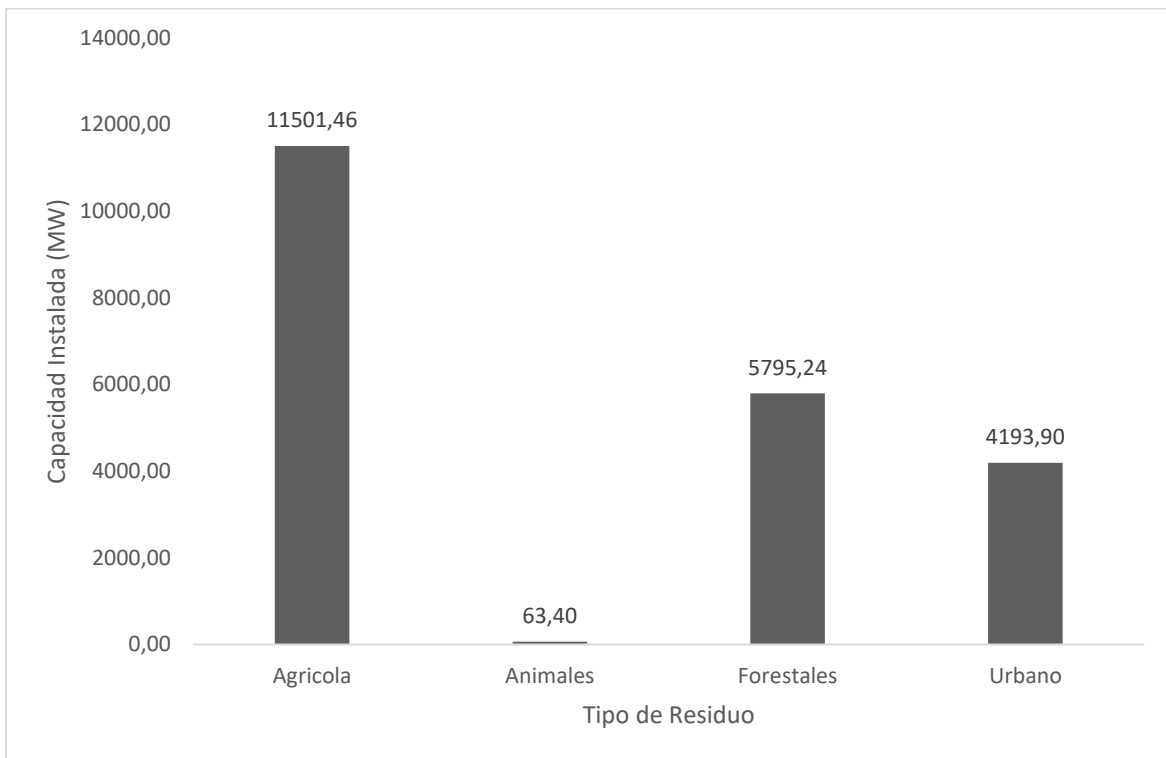
Tabla 5. Capacidad instalada en MW de países estudiados de América.

Países de América	Capacidad Instalada (MW)				
	Agrícolas	Animales	Forestales	Urbanos	Total
Brasil	10040,42		2587,54	152,80	12780,75
Chile	55,00		139,00		194,00
EE. UU.	505,40	63,40	3068,70	4041,10	7678,60
El salvador	107,20				107,20
Guatemala	669,10				669,10
Honduras	43,00				43,00
Nicaragua	81,35				81,35
<b>Total</b>	<b>11501,46</b>	<b>63,40</b>	<b>5795,24</b>	<b>4193,90</b>	<b>21554</b>

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 5 se visualizan las diferentes capacidades instaladas en MW que posee cada país con biomasa residual, esta clasificación se realizó para determinar el potencial que se obtiene con cada tipo de material. Se puede analizar que el país con mayor potencial es Brasil en el que predomina el uso de residuos sólidos agrícolas, debido a que es un país con un área territorial bastante extensa, ha fortalecido la economía de este sector, incentivando al cultivo de alimentos, producción nacional y generación de energía con los residuos que quedan después de procesos industriales, finalmente le da un uso a los subproductos (Menezes, Costa, Normey-Rico, & Bordons, 2014).

Le sigue Estados Unidos con residuos urbanos, en donde se utiliza madera reciclada, residuos de construcción, neumáticos, entre otros, como se observa en el anexo 3. La reutilización que este país decide darle a los desechos es para minimizar espacio de rellenos sanitarios. Estos datos coinciden con la tabla 3, en donde Brasil y U.S son los que más número de plantas poseen.



*Grafico 2.* Capacidad instalada en MW según el origen del material energético de países de América estudiados.

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En el grafico 2 se observa que la mayor producción de energía eléctrica por medio de biomasa en América es de origen Agrícola, por tanto, concuerda con lo mostrado en el grafico 1. La producción de energía por medio de biomasa con residuos agrícolas es una de la más fácil debido a la producción en masa y volumen de residuos. Posee características como es cantidad de energía acumulada, fácil producción, minimización de contaminación y por último puede ser usada en diferentes tecnologías para la extracción de energía.

## Europa y Asia

Tabla 6. Plantas generadoras según tipo de residuo en países de Europa y Asia.

Países de Europa y Asia	Tipo de Residuo						Total
	Agrícola	Animal	Forestales		Urbano		
	Solido	Solido	Gas	Solido	Liquido	Solido	
Alemania	1						1
Austria				2			2
Escocia						2	2
Filipinas	14			3		2	19
Finlandia				1	1	13	15
Francia	1		1	23		7	32
Inglaterra		4		3		6	13
Japón		1		7		3	11
Suecia				7		7	14
Tailandia	1			2			3
Total	17	5	1	48	1	40	112

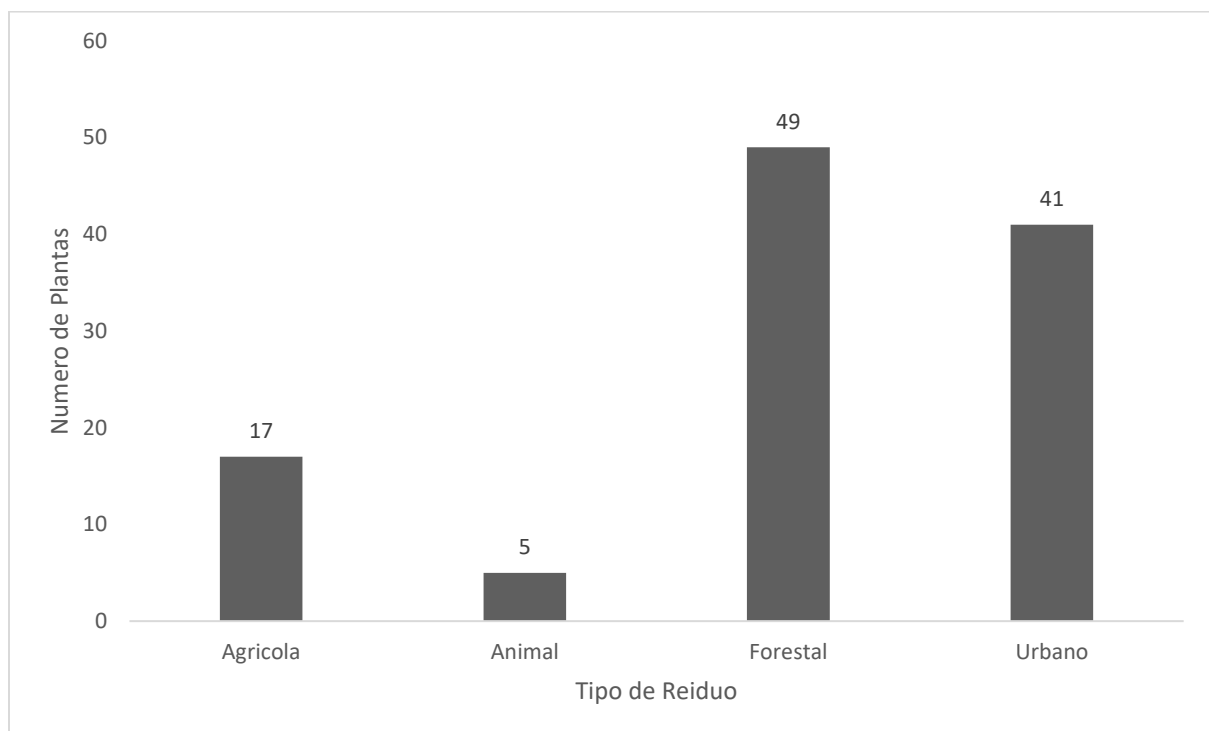
**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 6 se observa los países que fueron analizados para el segundo grupo (Euro – Asia), como en el grupo anterior se organizaron para determinar el país con mayor número de plantas. En este caso se observa que el país con más generadoras superior a 10MW es Francia, con 32 de las cuales la mayoría son a base de residuos forestales, debido a que es un país con áreas muy grandes de bosques y montañas.

Filipinas le sigue con 19 plantas, el mayor residuo utilizado es de origen agrícola, esto se debe a que es un país muy agricultor especialmente por el arroz y la caña de azúcar.

Finlandia ocupa el tercer puesto, donde prevalece el uso de residuos forestales y urbanos, especialmente porque tienen leyes muy concretas para el reciclaje; es importante tener en cuenta que cuenta con 6 de las generadoras de biomasa con mayor potencial del mundo. (Roca, 2016).

Lo anterior indica que Brasil sigue liderando con el mayor número de plantas de los países analizados, puesto que es un país que ha trabajado en regulaciones e incentivos para generar energía limpia de manera distribuida, en este caso se ve reflejado su labor.



*Grafico 3. Plantas generadoras según tipo de residuo de países de Europa y Asia.*

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En el grafico 3, se observa que el tipo de residuo utilizado en este grupo es de origen forestal, seguido por urbano, agrícola y animal. En este grupo prevalece el uso de



residuos forestales especialmente en Europa por ser un continente con gran cantidad de bosques, por tanto, posee mayor número de residuos en este sector. Le sigue los residuos urbanos, lo que concuerda con la cantidad de residuos que es producido por las grandes ciudades europeas.

*Tabla 7.* Plantas generadoras según estado de la materia de países de Europa y Asia.

Países de Europa y Asia	Estado de la Materia			
	Gas	Líquido	Sólido	Total
Alemania			1	1
Austria			2	2
Escocia			2	2
Filipinas			19	19
Finlandia		1	14	15
Francia	1		31	32
Inglaterra			13	13
Japón			11	11
Suecia			14	14
Tailandia			3	3
<b>Total,</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>110</b>	<b>112</b>

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 7, se observa que el estado de materia más utilizado es el sólido. Este estado es el más ideal para generar energía con combustión directa, además se resalta que solo dos países utilizan estados de material diferente al sólido como son: Francia, utiliza gas que es obtenido después de procesar residuos forestales y Finlandia utiliza líquido como combustible, lejía negra o licor negro, obtenido de residuos urbanos como es papel y astillas de madera principalmente.

Tabla 8. Capacidad instalada de plantas generadoras de países de Europa y Asia.

Países de Europa y Asia	Capacidad Instalada (MW)				Total
	Agrícola	Animal	Forestales	Urbano	
Alemania	20,00				20,00
Austria			20,00		20,00
Escocia				109,00	109,00
Filipinas	316,30		47,50	22,00	385,80
Finlandia			140,00	1710,00	1850,00
Francia	122,00		1171,74	285,00	1578,74
Inglaterra		94,70	111,00	951,60	1157,30
Japón		11,30	153,00	174,00	338,30
Suecia			640,00	1456,00	2096,00
Tailandia	22,00		250,00		272,00
<b>Total</b>	<b>480,30</b>	<b>106,00</b>	<b>2533,24</b>	<b>4707,60</b>	<b>7827,14</b>

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En la tabla 8 se evidencia que el país con mayor potencial en este grupo es Suecia, que a pesar de no tener la mayor cantidad de plantas posee una alta capacidad instalada en sus 14 plantas. Este país nórdico basa su generación en residuos forestales debido a enormes cantidades de bosque que posee y urbano en las ciudades principales para ser utilizado en el transporte.

Le sigue Finlandia otro país nórdico, que al igual que Suecia basa su generación en residuos urbanos, con la cultura de reciclaje que tiene la población es muy fácil clasificar la basura para obtener energía y en menor cantidad forestal, el cual es transformado en líquido como combustibles.

Estos países son pioneros en la utilización de biomasa como fuente de energía en Europa debido a su posición geográfica, se han caracterizado por generar calor y electricidad para el hogar y recientemente biocombustibles para el transporte público.

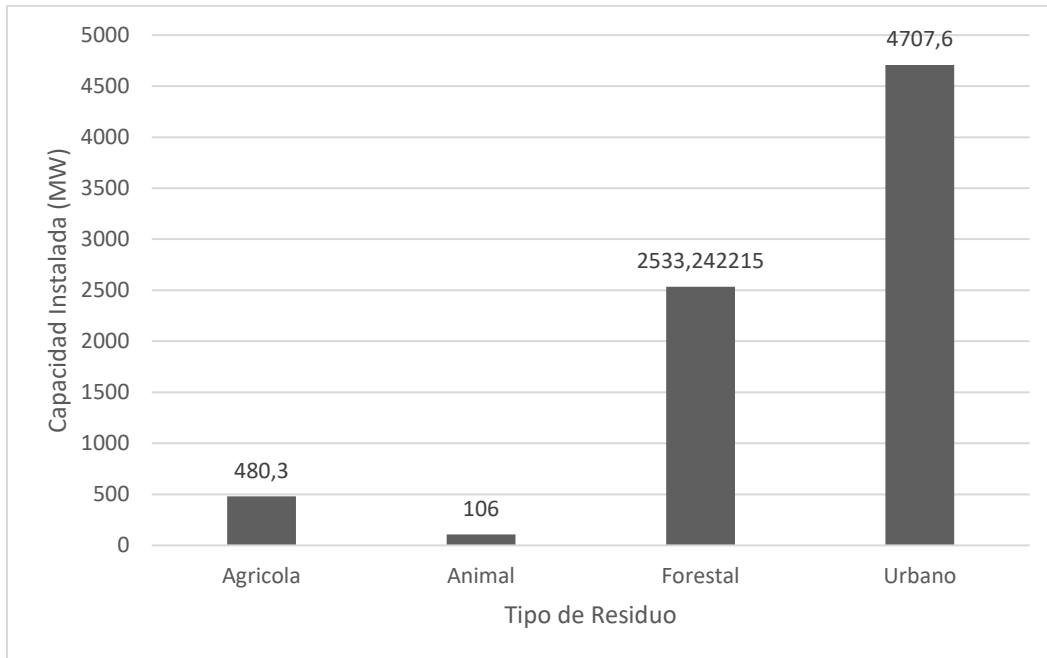


Grafico 4. Capacidad instalada de plantas generadoras de países de Europa y Asia.

**Fuente:** Realizada por Reyes Wendy 2018.

En el grafico 4 se observa que para Europa y Asia el tipo de residuo con mayor capacidad instalada es el urbano esto se debe a mayor industrialización y grandes centros urbanos; a diferencia de América que tiene mayor capacidad instalada con residuos agrícolas. Esto tiene relación con los sectores económicos de cada país, posición geográfica (países al norte tienen necesidad de generar calor y mayor energía para el invierno) y riquezas naturales (fuentes hídricas, calidad de la tierra para cultivar, bosques, entre otros) las cuales son estudiadas y a partir de esto se decide el mejor aprovechamiento para los recursos disponibles que tiene un país.

**Análisis de matrices energéticas****Brasil**

Se toma inicialmente a Brasil, debido a que es el país con mayor generación de energía eléctrica y térmica con biomasa. Brasil logro comprender la importancia de no depender solo de dos fuentes de energía como son la Térmica e Hidroeléctrica, desde lo cual planteo alternativas de generación, que le permitieran ampliar su capacidad y suplir la demanda energética que cada año aumenta un 4% (ANEEL, 2009). Visto a largo plazo y con problemas como la proximidad del agotamiento de combustibles fósiles y susceptibilidad a faltas de lluvia (CGEE, 2001), se hizo fundamental incluir en su matriz energética las energías renovables de una manera macro para lograr generar grandes cantidades de energía.

Brasil ocupa el 5to lugar en los países más grandes del mundo, por lo que tiene la responsabilidad de generar energía a grandes cantidades. El país ha visualizado el aprovechamiento de los residuos para obtener energía a bajos costo y que les brindara la oportunidad de ir sustituyendo la generación termoeléctrica, como también ha incentivado a que las industrias generen su energía con residuos que quedan de sus propios procesos, esto posibilita que la generación distribuida brinde oportunidad a las zonas más apartadas de tener energía eléctrica (Energias Renovables, 2017). De esta manera es actualmente el país con mayor capacidad instalada de biomasa en el mundo (Ministerio de Minas e Energia, 2016).

Brasil como Colombia, tiene condiciones geográficas difíciles que le imposibilita transmitir energía a zonas muy apartadas como en las amazonas brasilero, siendo un

ejemplo por seguir para incluir la biomasa en su matriz energética colombiana y a largo plazo se visualice como una fuente para la generación termoeléctrica. En la figura 20 se observa la matriz energética de Brasil, las energías renovables representan aproximadamente el 81.7% de la generación de energía eléctrica del país.

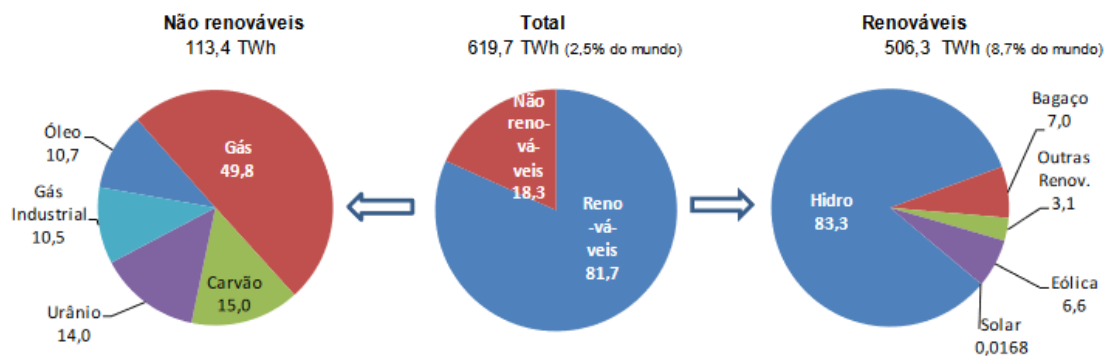


Figura 20. Matriz energética de Brasil em 2016.

**Fuente:** (Ministerio de Minas e Energia, 2016).

La mayor cantidad de plantas son industriales, las cuales usan el bagazo de caña de azúcar como combustible. En estas industrias los desechos son aproximadamente el 77.7% de la materia prima (Ochoa, Cabello, Sagastume, Hens, & Vandecasteele, 2010).

De esta forma ellos obtienen cantidades muy grandes de material energético suficiente para usarlos en sus procesos productivos y en algunos casos suministrarlo a la red. (ANEEL, 2018). En el Anexo 1 se puede observar que los desechos utilizados son Licor negro, Bagazo de Caña de azúcar, Cascara de arroz, biogás, Carbón de leña, Pasto Elefante y Residuos forestales. La planta más grande de biomasa que posee Brasil genera 330MW, se llama Klabin Celulose y el residuo que usa es Licor negro. El residuo más

utilizado en Brasil es la caña de azúcar, por ser uno de los productos agrícolas más importantes para los brasileros (Horta & Arnaldo, 2007).

### **Chile**

La biomasa en Chile es una de las energías que más abunda por ser un país forestal, lo que representa el 50% de las FNCER de Chile. (Zalaquett, 2013). En Chile se aprovecha el biogás de residuos exiliados de Santiago y Valparaíso, con lo cual se genera energía, además, desde 1999 se inició un proyecto piloto de la CNE en conjunto con el Programa para las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), el cual consiste en generar energía eléctrica para zonas rurales, a partir de gasificación de residuos forestales para la localidad de Metahue, Isla Batachauques, en la X Región. (Icarito, 2009). En la figura 21, se observa la matriz energética de Chile para el año 2016 en el que la producción de energía eléctrica por medio de biomasa representa el 2%, lo que representa un aporte considerable para la generación del país chileno (Guzowski & Recalde, 2010).

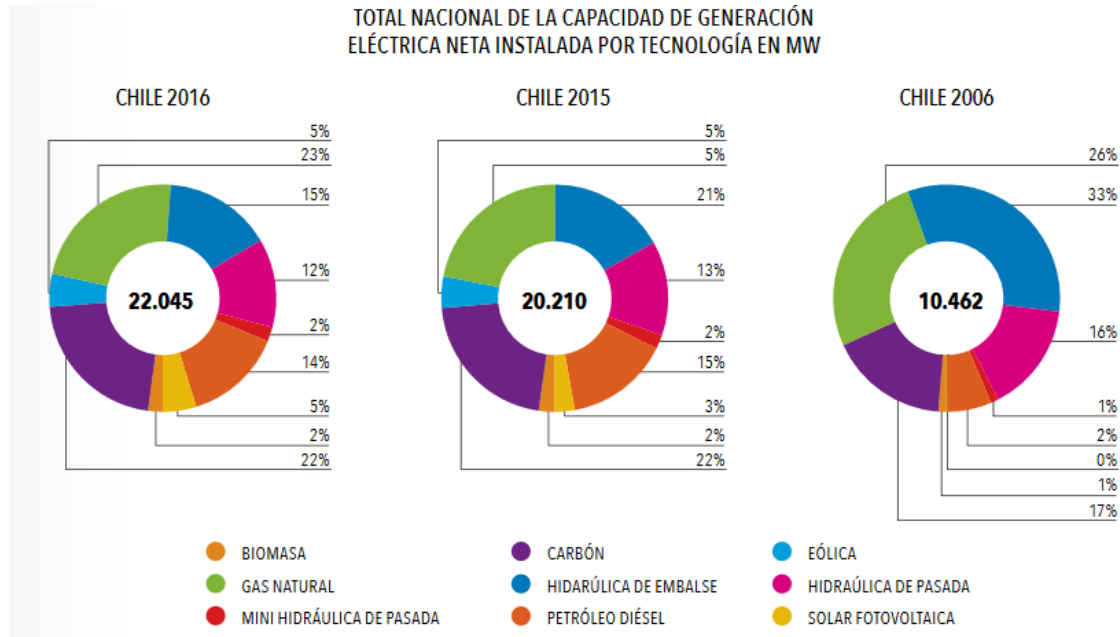


Figura 21. Matriz energética de Chile en 2016.

**Fuente:** (Ministerio de Energía de Chile, 2017).

En el anexo 2 se puede observar que los residuos más utilizados para plantas inferiores a 10MW son recursos forestales, paja de trigo y orujillo. La planta con mayor capacidad instalada pertenece a Empresa Arauco y genera 61MW con biomasa y residuos. La intención de esta industria papelera es realizar un consumo sostenible y han impulsado su autogeneración con sus residuos.

## Estados Unidos

Estados Unidos también es uno de los países con mayores potenciales de generación de energía térmica y eléctrica del mundo, el cual inicio a cambiar su matriz energética desde el 2012, incluyendo las diferentes energías renovables, en especial biomasa, para lo cual no solo ha desarrollado tecnologías, sino que ha invertido en

investigaciones para desarrollar generación con algas, de las cuales se puede obtener grandes cantidades de Biodiesel (Zhang & Ogden, 2017).

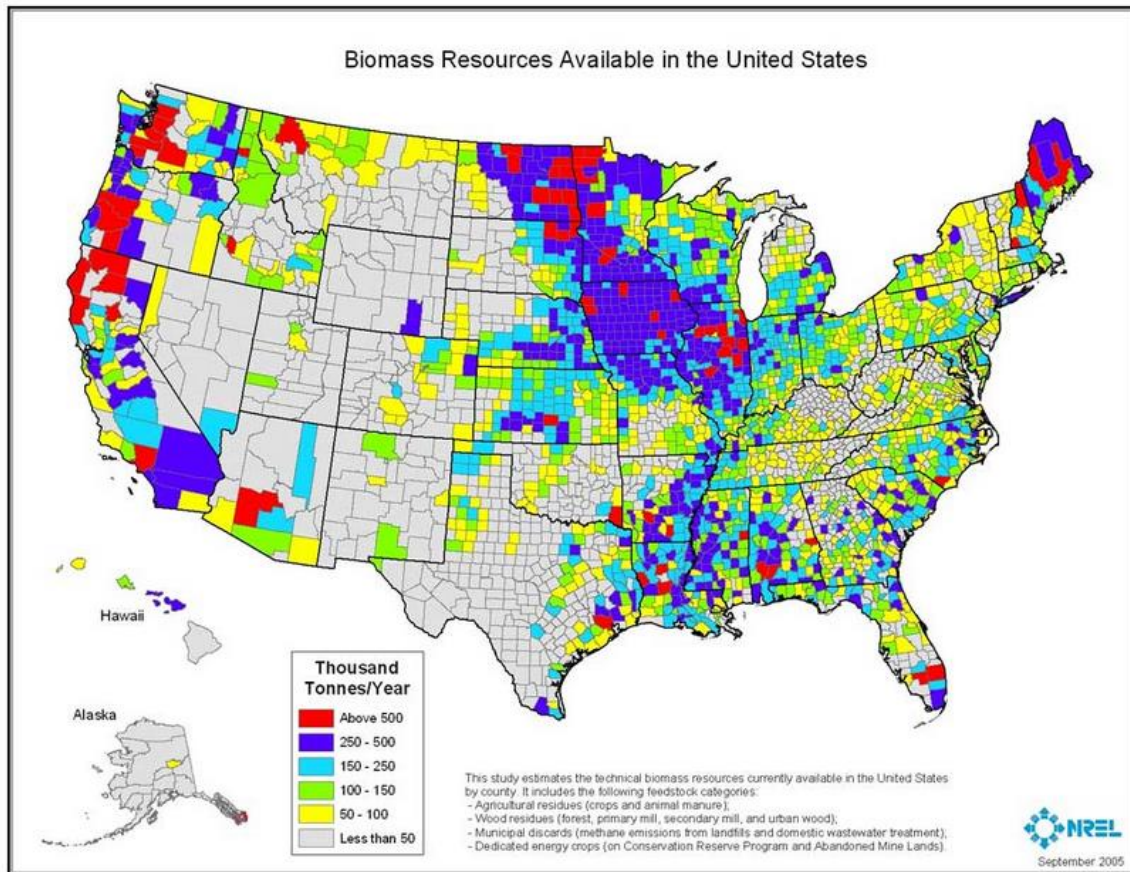


Figura 22. Biomasa disponible en Estados Unidos.

**Fuente:** (Trivial Energy and Environmental Information , 2017).

Como se puede observar en la figura 22 Estados Unidos tiene grandes cantidades de residuos al año, estos son principalmente residuos agrícolas y madereros, vertederos y cultivos energéticos. (Trivial Energy and Environmental Information , 2017). Estados Unidos tomo ese importante paso al tener en cuenta que la biomasa no solo es una alternativa a los combustibles fósiles, sino contribución de la energía eléctrica del país,



por eso en busca de alternativa, consumo sustentable y disminución de costos ha optado por ver la biomasa como solución por la facilidad que tiene de ser transformada en energía a partir de los residuos que ya se tienen. (U.S. Biomass Energy, 2017).

El desarrollo industrial y la población de los Estados Unidos crece aceleradamente generando dos problemáticas, crecimiento de la capacidad de generación y aumento de volumen de basura. EE. UU. En aras de controlar estas situaciones han desarrollado estrictas leyes en el que obligan a los usuarios a tener un consumo eficiente de la energía (U.S. Department of Energy, 2018). Estas leyes han logrado disminuir considerablemente la problemática, sin embargo, no ha sido suficiente. Debido a esto han incentivado por medio de leyes a compañías y a usuarios buscar alternativas de generación.

La “basura” en cualquiera de sus presentaciones (residuos sólidos, madera, llantas, etc.) ha sido por muchos años una alternativa para personas lejos del área urbana para generar calor, muchos empresarios viendo la capacidad calorífica de muchos desechos e incentivados por el país se dieron cuenta la cantidad de dinero que existe en la “basura” (Hohenstein & Wright, 2008).

La bioenergía está creciendo en los EE. UU, del 2002 al 2013 aumento un 60%. Muchas compañías han instalado en sus fábricas generadores con biomasa, utilizando sus propios desechos como combustibles, otras han realizado proyectos de plantas generadoras para pequeñas poblaciones. Aumentando la capacidad de generación y disminuyendo volúmenes de desechos. (EIA, 2014)

La biomasa aparte de ser un energético amigable con el medio ambiente posee diversas maneras de ser transformada por eso existe la posibilidad de utilizar tecnología

existente, como la que se encuentra en plantas térmicas que utilizan energéticos de origen fósil para su funcionamiento y ser adaptadas para que el energético utilizado sea biomasa, de esta forma los países ahorrarían dinero, tiempo y recursos simplemente adaptando las tecnologías existentes para generar energía (Mal, Prasad, & Kumar, 2015). En algunas plantas de Estados Unidos se ha venido implementando adaptación de tecnologías; en Virginia existe un programa estatal para convertir plantas de carbón a biomasa, ya son 3 plantas que han sido adaptadas cada una con generación de 51MW las cuales están ubicadas en Alta Vista, Hopewell y Southampton. Una planta industrial en Alta Vista cambio de gas natural a biomasa como combustible principal (Mayes, 2016). Hasta el 2016 la producción de energía representaba el 5% de toda la energía eléctrica de Estados Unidos, como se observa en la figura 23.

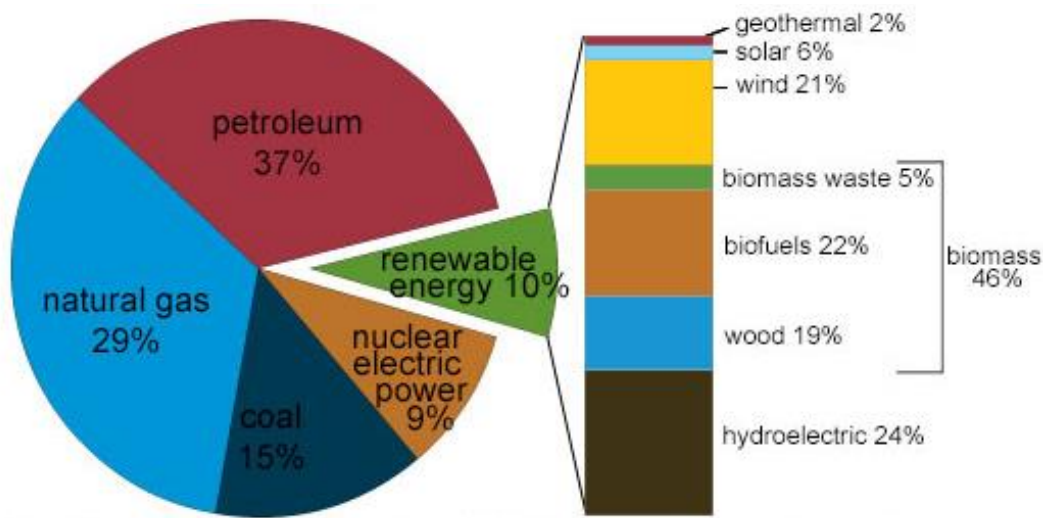


Figura 23. Matriz Energética de Estados Unidos.

**Fuente:** (U.S Energy Information Administration, 2017).

Este país genera con casi todos los residuos que se encuentren disponible, como ejemplo esta la planta Fibrominn se generan 50MW con cama de pollos (residuo animal), se genera con residuos urbanos como son restos de llantas o construcción en ciudades muy numerosas como New York y el estado de la Florida. En el anexo 3 se puede observar que la planta con mayor capacidad instalada es Covanta, en el estado de Pensilvania, con 165MW de generación, utilizando residuos sólidos urbanos.

### **El Salvador**

El salvador decidió realizar transformación de su matriz energética, con el desarrollo del Plan Maestro para el desarrollo de Energías Renovables con la intervención del Consejo Nacional de Energía (CNE), Agencia Internacional de Cooperación de Japón (JICA) y la Superintendencia de Electricidad y Telecomunicaciones, en el que se estableció un marco regulatorio que incentivara la generación por medio de energías renovables e incentivar la inversión del sector privado, esta iniciativa surgió desde el 2012, se inició con estudios para determinar potenciales en energías renovables, incentivos para generar proyectos y licitaciones de estos para la diversificación de la matriz energética del salvador. Así se proyecta a disminuir la dependencia de combustibles fósiles para generación ya que el 100% del combustible utilizado es importado, fortalecer la institucionalidad del sector energético y protección al usuario, promoción de una cultura de eficiencia y ahorro energético, ampliación de cobertura y tarifas sociales preferentes, innovación y desarrollo tecnológico, integración energética regional (Concejo Nacional de Energía , 2012).

Actualmente el 58% de la energía del salvador es de origen renovables (hidroeléctrica, biomasa, geotérmica, solar eólica) y estiman que aumente al 62% en 2018 (ECPA, 2015) (Concejo Nacional de Energía , 2012). El salvador como otros países de Centro América han decidido apostar en las energías renovables, como iniciativa de desarrollo social y económico (Apergis & Payne, 2010)

Últimamente el Salvador a avanzado bastante en generación de energía por medio de biomasa, ya que 47% de la energía primaria proviene de la leña, lo que incentivo la generación distribuida para zonas rural y suburbano, como es el caso del departamento de Chalatenango en el que el 0,6% de la población utiliza energía eléctrica para la cocción de alimentos. Por eso es muy importante para El Salvador impulsar iniciativas para generar energía por medio de biomasa, para el 2015 el salvador generaba el 7% de su energía con cogeneración por medio de biomasa, como se observa en la figura 24. (FAO, 2015).

En el anexo 4 se puede observar que solo posee 2 plantas de esta categoría, sin embargo, estas poseen una capacidad instalada relativamente alta para el tamaño del país, lo que demuestra el reciente avance en energías renovables del Salvador. El energético utilizado es bagazo de caña y hojas que quedan después de cortar con una potencia de 62.2MW.

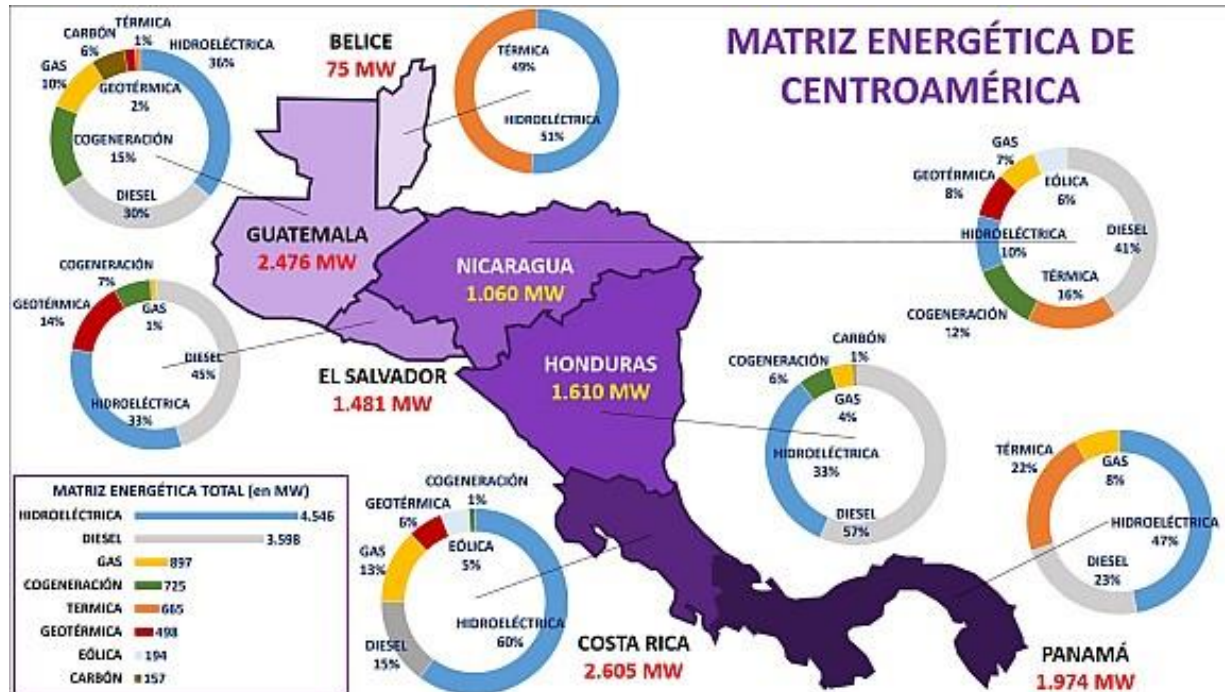


Figura 24. Matriz energética de países de Centro América.

Fuente: (Fundacion Avina , 2016).

## Guatemala

Guatemala es un país que ha iniciado el cambio de su matriz energética, analizando oportunidades a podido incluir energías limpias en su capacidad instalada, en Guatemala se utiliza biomasa como leña, bagazo de caña, biodigestión y otras.

La leña representa el mayor consumo de energía final ya que es el combustible que se utiliza para los fogones abiertos (tres fogones), una forma tradicional y cultural para la cocción de alimentos. Por esto han potencializado la cogeneración ya que en zonas rurales es donde se tiene la mayor cantidad de producción de biomasa, esto permite favorecer a las zonas apartadas. En la figura 24 e puede observar que genera el 15% de su

energía con biomasa, pero como generación distribuida, en el que se encuentran industria azucarera, y zonas apartadas. (FAO, 2015).

En el anexo 5 se puede observar que todas las plantas utilizan como energéticos, residuos agrícolas. La planta con mayor generación es Pantaleón con 315,2MW. Estas plantas pertenecen a industrias azucareras que autogeneran y comercializan la energía que no es consumida por ellos.

### **Honduras**

Hondura posee ya ejemplos de generación distribuida con los desechos de madera como son Asadero Yodeco, Asadero Lumberton, La escuela nacional de Ciencias Forestales y la comunidad Agroforestal de chagüite grande, estos ejemplos son para autoconsumo y aprovechamiento de los residuos. Se estima que el potencial total que puede poseer en biomasa es aproximadamente 30MW. En zonas rurales el 71% de la población no posee energía eléctrica, esto se debe a los costos que implica transportar y construir líneas de transmisión para que esto sea posible, es por esta razón que Honduras se proyecta a utilizar la energía de la biomasa para la extensión de la energía en zonas aisladas. Lo que favorece al país ya que disminuye la importación de hidrocarburos de otros países, favorece la descentralización y la independencia de la generación, evitando el transporte de la energía a largas distancias.

Un ejemplo es la Mosquita que es una región con muchos residuos forestales, aislada y con bajo poder adquisitivo de la población, esta iniciativa fomentaría el autoconsumo y mayores ingresos para la población ya que fortalecería la economía local, lo que convierte la biomasa en de las fuentes de generación de mayor interés para el país.

Actualmente el 6% de la energía es producida con biomasa, como se observa en la figura 24. (FAO, 2015).

En el anexo 6 se puede observar que en esta categoría solo se tuvo en cuenta una planta que genera con residuos agrícolas como son bagazo de caña de azúcar y palma africana, el potencial instalado es de 43MW.

### **Nicaragua**

Nicaragua posee grandes potenciales para la generación de energía, sin embargo, esto no ha despertado el suficiente interés para seguir avanzando en esta área. Para el país la industria azucarera representa una alternativa de sustitución en la generación de energía por medio de biomasa.

Actualmente los residuos de madera solo se utilizan para cocción de alimentos y de forma artesanal, por lo que hondura plantea crear una política global para el sector energético, de tal manera que se fomente más a la utilización de los residuos para generación de energía y que no solo sea por parte de la industria azucarera, así disminuiría la importación de combustibles fósiles y contaminación ambiental a la vez. El 7% de la generación del país proviene de biomasa la cual es utilizada en la industria azucarera como se muestra en la figura 24. (FAO, 2015).

En el anexo 7 se observa que el potencial instalada en la planta que se analizo es de 79,3MW de una industria azucarera, de esta manera se observa cómo se empieza a incentivar el aprovechamiento de la biomasa en el sector industrial.

### **Alemania**

Alemania, tiene como meta basar su sistema energético en el mayor grado posible en fuentes renovables y disminuir el consumo de combustibles fósiles, esto se encuentra motivado por el calentamiento global, más seguridad y confiabilidad del sistema, puesto que alrededor del 70% de su energía primaria es importada, lo que no garantiza una estabilidad en el sistema por la dependencia de la variabilidad en precios y futura escases, es por esto que basar su producción de energía en fuente renovables garantiza su confiabilidad a largo plazo. (Eloy Alvarez Pelegry, Iñigo Ortiz Martinez, 2016).

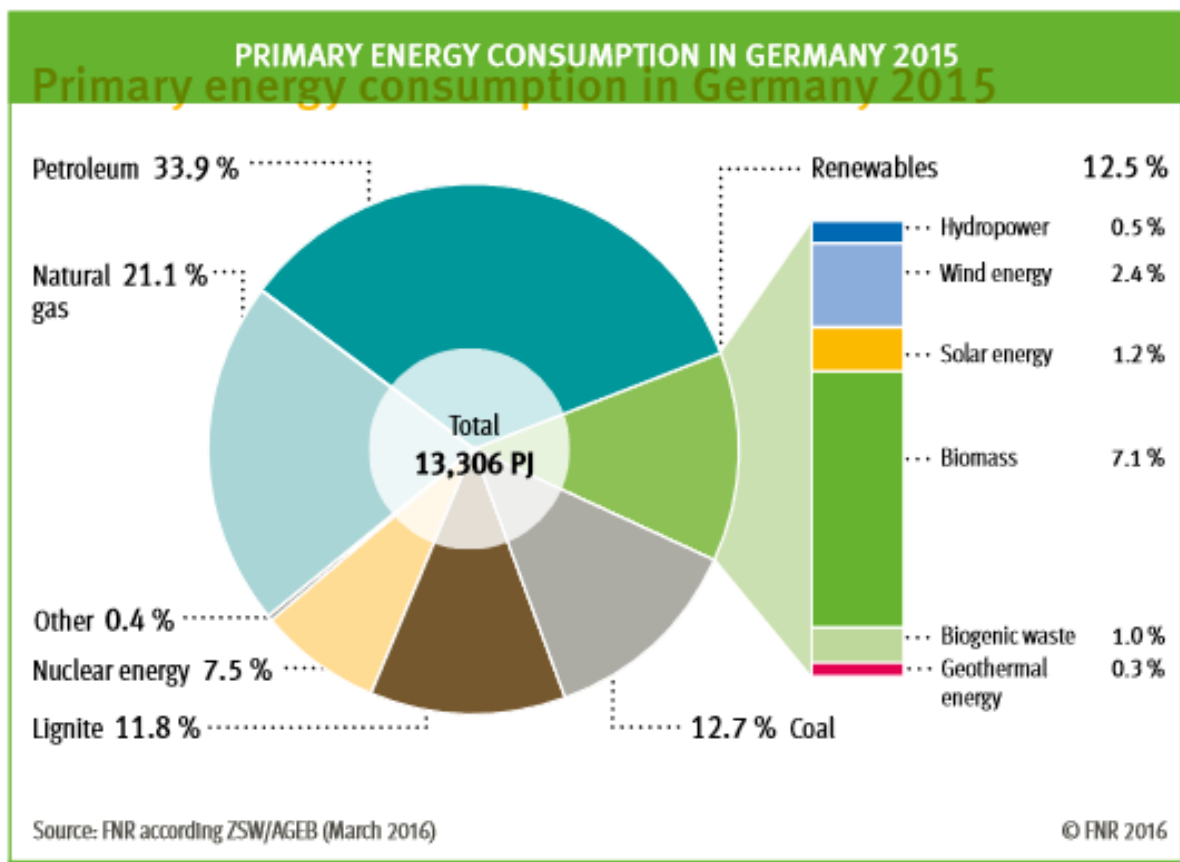


Figura 25. Matriz energética de Alemania.

**Fuente:** (Federal Ministry of Food and Agriculture, 2016).



Actualmente se produce el 7.1% de la energía con biomasa como se muestra en la figura 25, lo que representa un gran porcentaje para este país, donde es aprovechada la biomasa doméstica y principalmente de la agricultura. (Federal Ministry of Food and Agriculture, 2016).

En este análisis no se tuvieron en cuenta la mayoría de las plantas de generación que posee Alemania ya que son de capacidad menos a 10MW, solo una entro al análisis, como se observa en el anexo 8. La planta Pekun es la más grande y funciona con un sistema de cogeneración para producir calor y electricidad mediante digestores que producen metano con la fermentación de residuos agrícolas de toda clase. (News Soliclíma, 2008). Esta planta usa como materia energética maíz, trigo y estiércol líquido. Tiene una capacidad instalada de 20MW. La co-combustión ha sido parte de la transformación paulatina que ha venido implementando Alemania en los últimos años. De esta manera logra disminuir la contaminación por generación y ha minimizado la cantidad de combustible de importación (Hartmann & Kaltschmitt, 1999).

Las otras plantas que posee Alemania funcionan como autogeneración para producir energía térmica para comunidades con residuos animales y forestales, de esta manera la energía es vendida localmente (Weiland, 2006).

### **Austria**

La biomasa es la energía más utilizada para los hogares austriacos. En 2013, 43% de la energía doméstica fue producida por esta fuente de energía, por lo que es la más relevante para este país, representa el 58% de la energía eléctrica generada con FNCER.

La principal fuente de residuos proviene de los bosques (forestal), ya que de aquí proviene el 80% aproximadamente de los residuos, el resto proviene de residuos agrícolas y domésticos. Se espera que para el 2030 se pueda generar con biomasa un tercio de la demanda de energía doméstica, estos datos se conocen mediante estudios para determinar los potenciales que posee el país, costos de inversión, operación y financiación, de esta manera conocer las mejores opciones para generar energía con biomasa (Steininger & Voraberger, 2003).

La generación por biomasa supera el porcentaje de generación de las demás fuentes de energía, esto se debe a que Austria ha intentado aprovechar al máximo su gran cantidad de recursos forestales y utilizado esto para la calefacción de los hogares, además lo aprovecha este recurso para la generación distribuida ya que representa gran eficiencia, puede generar energía las 24 horas del día y representa una gran contribución para este país. (Ministerio de Austria, 2016)

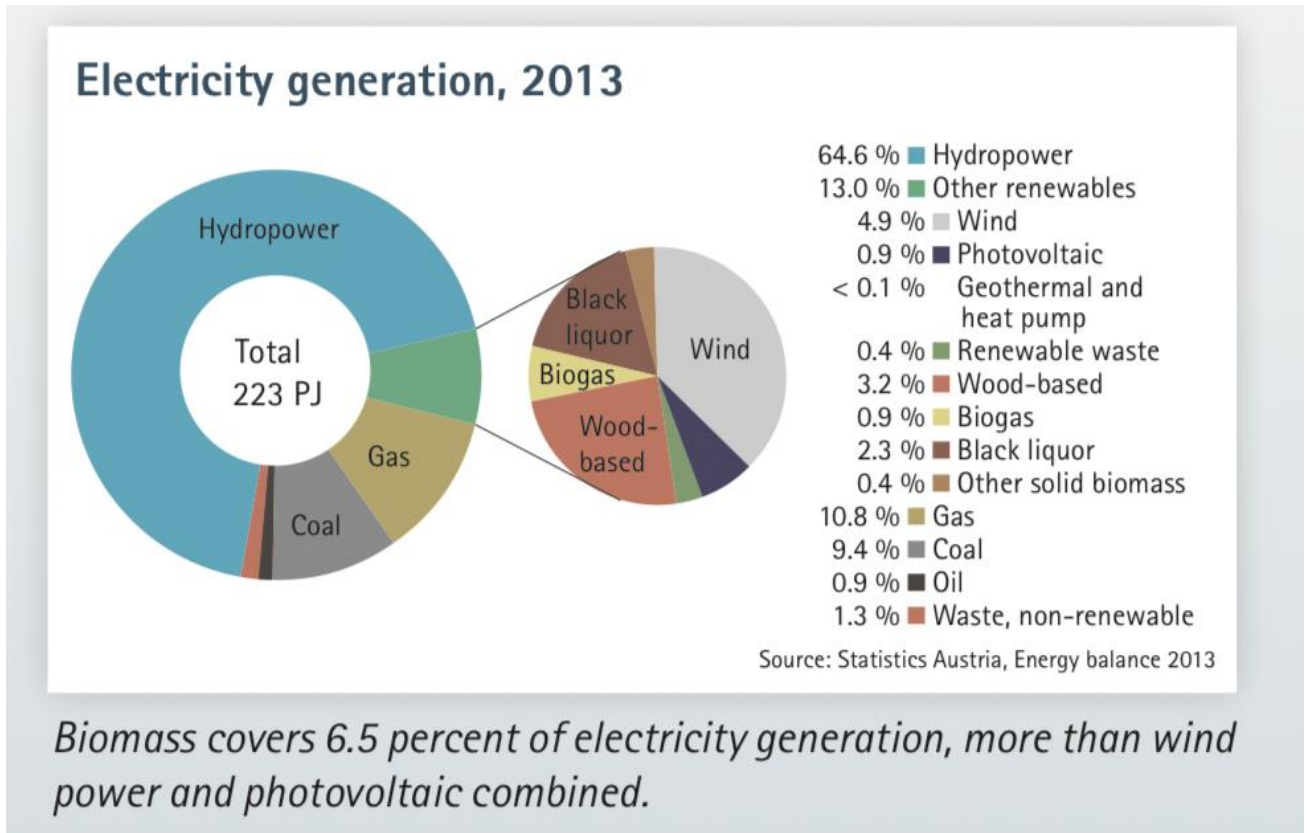


Figura 26. Matriz energética de Austria.

**Fuente:** (Ministerio de Austria, 2016)

En la figura 26 se muestra que la bioenergía representa el 7.2% para el 2013, lo que representa un gran avance e identificación de oportunidades por parte de Austria.

En el anexo 9 se observan solo dos plantas. Es importante resaltar que la mayoría se encuentran en zonas apartadas y son de bajo potencial. Las plantas utilizan madera como material energético, que es el mayor residuo que tiene Austria y ambas generan 10MW.

**Escocia**

Escocia identifico la biomasa como el principal sustituto de los combustibles fósiles debido a que contiene grandes cantidades de energía y es un recurso natural. Este país posee grandes cantidades de leña que proviene de bosques y residuos madereros. Mediante estudio identifico que con residuos forestales puede generar hasta 3,3GW de electricidad y así suministrar hasta el 31% de la demanda eléctrica domestica actual (Andersen, Towers, & Smith, 2005).

Escocia identifico en la biomasa una fuente muy valiosa, porque posee la capacidad para satisfacer necesidades energéticas locales y generación de nuevos empleos. El gobierno de escocia la potencializa para el sector doméstico y que esta sea fuente de calor, de tal manera que se disminuya el consumo de gas que se tiene actualmente. (Scottish Government, 2017).

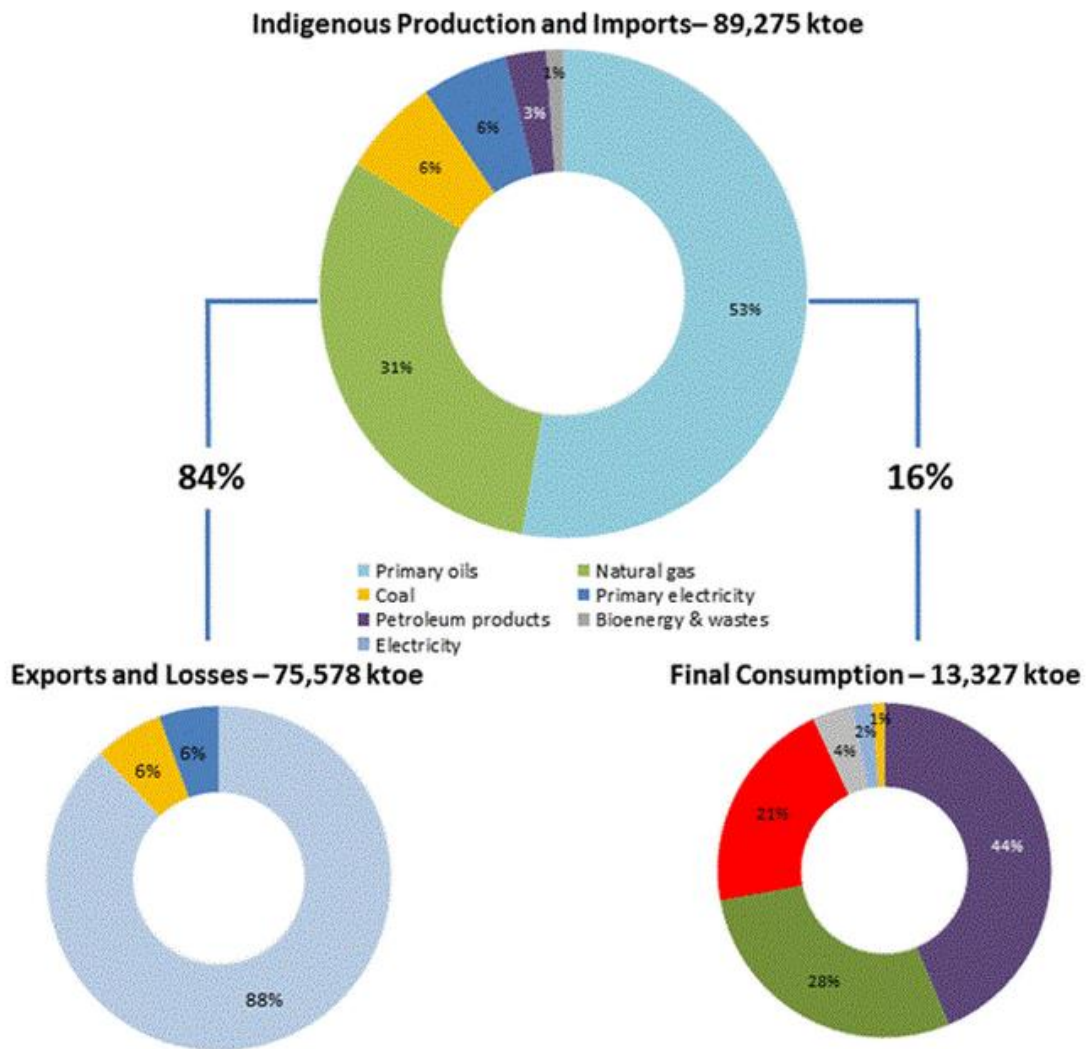


Figura 27. Matriz energética de Escocia 2014.

**Fuente:** (Scottish Government, 2014).

En la figura 27 se visualiza que Escocia no tiene altos porcentajes de generación con relación a toda la generación de su energía, sin embargo, ya posee políticas claras para aumentar el porcentaje de generación por medio de esta fuente para el 2020, con la iniciativa de que la mayor parte de la calefacción sea producida por biomasa en reemplazo del gas.

En el anexo 10 se observa que el residuo utilizado es papel, el cual se encuentra en residuos urbanos. La planta con mayor generación es de 65MW, potencial muy grande para ser generado con papel. Esto indica que Escocia es un país con iniciativas muy claras sobre reciclaje.

### **Filipinas**

En Filipinas existen recursos procedentes de cultivo agrícolas, forestales, animales, agroindustriales, urbanos y biomasa acuática; los más comunes son cascara de arroz, bagazo de caña, cascara de coco, por ser un país agricultor, recientemente está aumentando la producción de biocombustibles por medio de estos residuos, debido al incremento del precio de combustibles fósiles y por ser un país que ha experimentado daños en sus cultivos debido al cambio climático (Agawin, Duarte, & Agusti, 2003).

Filipinas ha comenzado a construir centrales energéticas con energías renovables, apoyadas en la ley de energía renovable del 2008 y la ley de la república 9513 para disminuir la dependencia nacional de la electricidad generadas a partir de combustible altamente contaminante, gracias a esto ha dado más de 2.9 millones de puestos de trabajo.

En la figura 28 se puede observar la distribución de las plantas de biomasa en ese país.

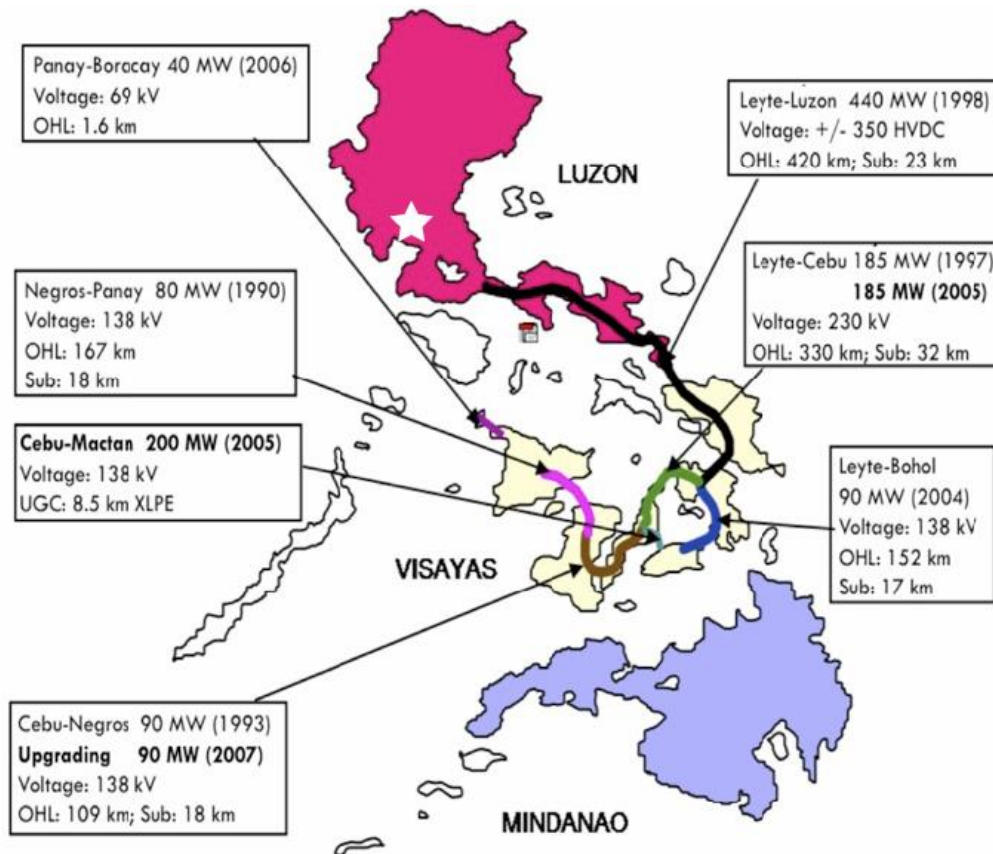


Figura 28. Distribución de plantas en Filipinas.

**Fuente:** (Green Power, 2018).

Una de las tecnologías más usadas es combustión directa que se usa en la generación distribuida, gasificación para uso mecánico y eléctrico, leña y desechos agrícolas para cocinar y calentar; por lo que la biomasa es la energía renovable más usada en Filipinas.

Aproximadamente el 30% de la energía que se consume en los hogares de Filipinas proviene de biomasa, la población rural la usa para labores domésticas. Por otra

parte, se estima que con todo el volumen de residuos disponibles se podría generar el 12% aproximadamente de toda la energía en Filipinas, como se muestra en la figura 29.

Se estima que se deben introducir nuevas tecnologías para la recuperación de residuos, conversión de energía e implementar un correcto desarrollo de cadenas de suministro. (ASEAN BRIEFING, 2017).

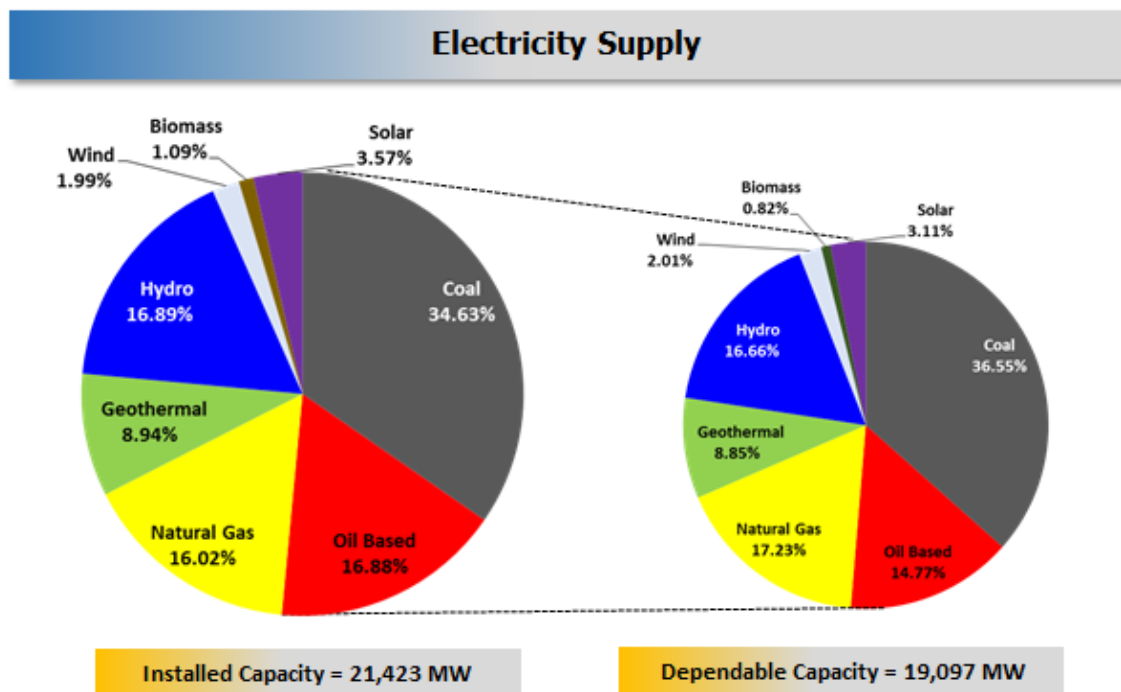


Figura 29. Matriz energética de Filipinas 2011.

**Fuente:** (Department of Energy Philippines, 2016).

En el anexo 11 se puede identificar que las plantas que posee son relativamente pequeña ya que son para la electricidad de las mismas comunidades. El energético más utilizado es bagazo de caña de azúcar. La planta más grande posee 50MW de capacidad instalada.



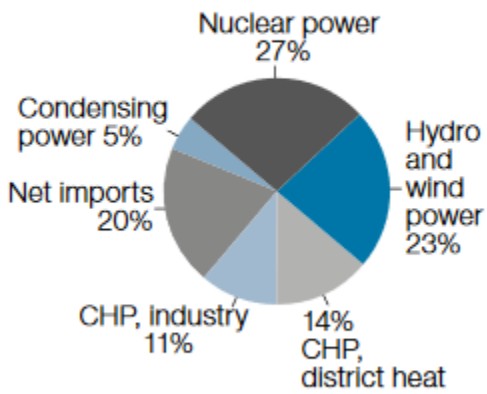
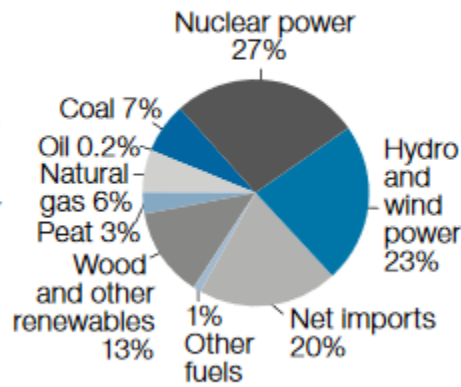
**Finlandia**

Finlandia es actualmente uno de los países más fuertes a nivel generación por Biomasa, cuenta con 7 plantas en el top 10 mundial con mayor generación de energía eléctrica a partir de esta fuente renovable. (Roca, 2016)

El 65% de las plantas de biomasa más grandes del mundo se encuentran en Finlandia. Así lo revela un artículo publicado el mes de abril de 2016 en Fieras de la Energía, donde se hace una lista de las plantas que utilizan algún tipo de biomasa para generar electricidad y calor. Seis de las nueve propuestas están ubicadas en Finlandia.

Está claro que Finlandia apuesta por la generación energética a través de residuos forestales que provienen, en su mayoría, de la madera. Desde el 2001 vienen implementando políticas para reducir el consumo de combustibles fósiles, como creación de impuestos, de esta manera se ha incrementado el uso de biomasa como sustituto de los combustibles tradicionales (Ericsson, Huttunen, Nilsson, & Svenningsson, 2005).

En concreto, las seis plantas finlandesas suman una generación energética que ronda los 970 MW, siendo la de Alhomnes Kraft, ubicada en las instalaciones de la fábrica de papel UPM-Kymmene en Alholmen, Jakobstad, la que más energía genera (265 MW, el 27% del total de energía creada entre las seis) y posicionándose como la segunda planta de generación de energía a partir de biomasa del mundo. (Feira de Energia, 2016).

**Electricity supply 2015\*****By mode of production****By source**

Total electricity supply in 2015\* was 82.5 TWh

Figura 30. Matriz energética de Finlandia.

**Fuente:** (Statistics Finland, 2016).

Aproximadamente el 13% del total de la energía es producido con biomasa como se muestra en la figura 30. En el año 2016 este país presentó récord en generación por medio de biomasa con más de 130TW, que fue producido a partir de licor negro de la industria forestal, y los subproductos. (Invest In Finland, 2017).

En Finlandia se aprovecha la biomasa para la calefacción de los hogares debido a las bajas temperaturas producidas en este país, por lo que se realiza de manera distribuida y en algunos casos a pequeña escala, son confiables, robustas y puede ser fácilmente comercializada. (VTT Technical Research Centre, 2016).

En el anexo 12 se observa que los residuos utilizados son madera, papel, cartón y plástico. La planta más grande produce 265MW con papel y madera que provienen de

residuos urbanos, de esta manera buscan reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte generando biocombustibles (Soimakallio, y otros, 2008).

### Francia

Otro país para resaltar es Francia, ya que ha tomado partida para cambiar las fuentes de generación. Después de la segunda guerra mundial generaba el 74% de su energía con energía nuclear, 11% era Térmica y el 15% renovable como se muestra en la figura 31

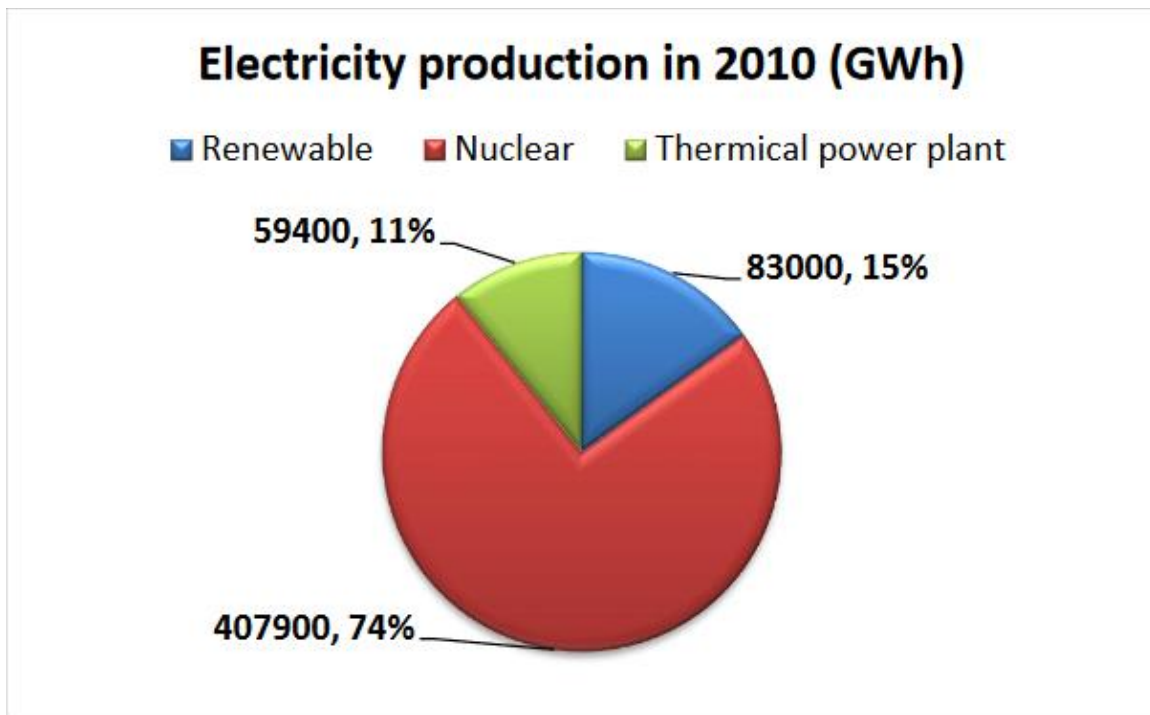


Figura 31. Producción de Electricidad en 2010 de Francia.

**Fuente:** (Arnaud Foucault, Peter Meisen, 2011).

La producción de energía con biomasa se hace por lo general con residuos como trozos y astillas de madera, papel reciclado y bagazo de caña, sin embargo, la que más se

utiliza es de origen forestal como se muestra en el anexo 13. La planta más grande produce 153MW con trozos de madera y recibe el nombre de Vaulx.

Sin embargo, para el 2020 se proyecta disminuir el consumo de energía por biomasa, por lo que el consumo se concentra en la producción de energía con paneles solares, energía eólica y cogeneración con productos fósiles, y biomasa. Las fuentes principales de generación de energía en Francia y la Unión Europea es Hidroeléctrica y Biomasa; específicamente en Francia se utilizan residuos de la agricultura, forestales, industriales y urbanos, (Campu Frances, 2013) de tal manera que los productos de orígenes fósiles sean suplantados por biocombustibles (Vollebergh, 1998).

## **Japón**

Japón es la tercera economía más grande del mundo, por lo que ha ideado soluciones a los problemas que venía presentando, anteriormente la generación de energía eléctrica estuvo dominado por combustibles fósiles y plantas nucleares, sin embargo varios hechos hicieron que esto cambiara como el accidente nuclear en Fukuhima, aumento del precio de combustibles fósiles, alta dependencia de importaciones, aumento de los gases de efecto invernadero; indujo a que se modificara la política de generación de energía y se introdujera energías renovables en la matriz energética de Japón asegurando la independencia, equidad de transmisión y distribución, aumento de conciencia sobre eficiencia energética.

Por otra parte, en 2001, el Gobierno japonés promulgó una ley para hacer obligatorio el reciclaje de aparatos electrónicos usados. Las lavadoras, los televisores, los

aparatos de aire acondicionado, los frigoríficos y los ordenadores se desarman en plantas de reciclaje de electrodomésticos, mientras que las tierras raras y otros materiales valiosos se recogen, de esta forma, los aparatos electrodomésticos se reciclan de forma completa. Los residuos agrícolas se han visto como una solución energética basado en la cantidad de producción y disponibilidad que tiene Japón por ser un país muy agricultor, especialmente de arroz (Matsumura, Minowa, & Yamamoto, 2005).

El gobierno japonés visualiza la biomasa como una fuente de energía clave por lo que ha creado políticas para la adquisición de materia prima y así impulsar la biomasa doméstica, plantas de fermentación de metano, aprovechamiento de aguas residuales, edificios con sistemas de biogás urbano que se genera con residuos reciclados. (Plessis, 2015).

Japón introduce el término de Basura combustible y basura combustible con la que busca la mayor reducción de sus desechos de una manera que se puedan aprovechar. En la Planta Incineradora de Kita, la basura se quema a una temperatura superior a 800°C para evitar que se formen nocivas dioxinas. Además, la energía térmica que se genera en la planta se utiliza de forma efectiva para la generación de electricidad y calor. (IPCENA, 2011).

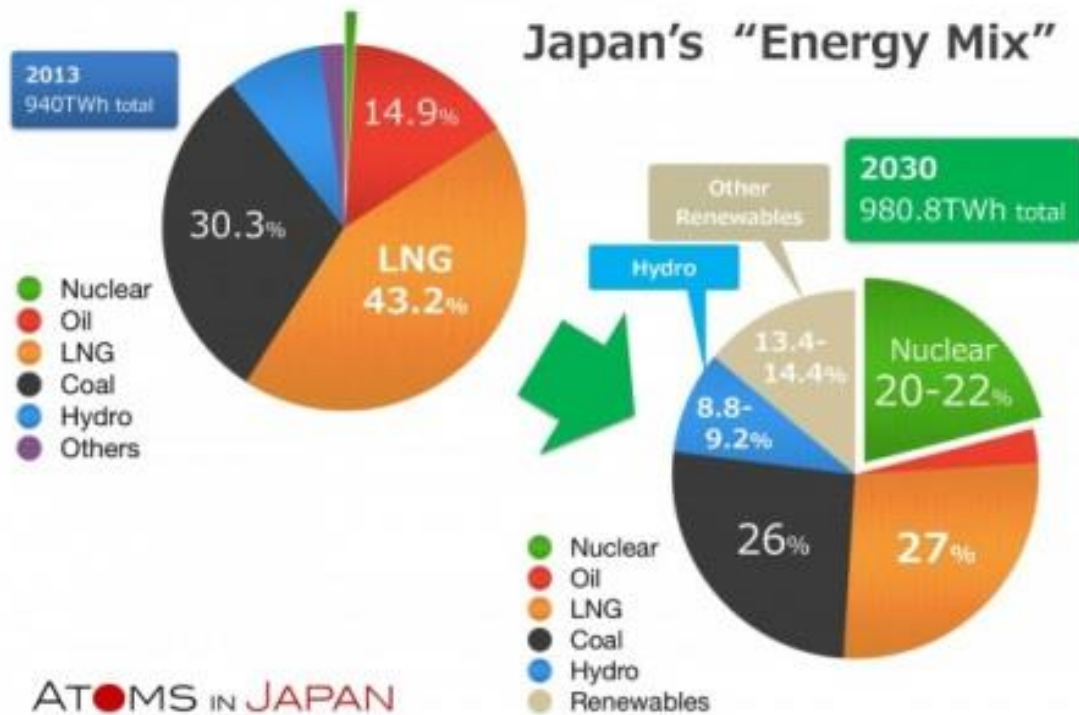


Figura 32. Matriz energética de Japón.

**Fuente:** (World nuclear news, 2015).

En el anexo 15 se observa que los residuos utilizados son maderas, cascara de palma y desechos urbanos. La planta con mayor capacidad instalada genera con residuos urbanos 75MW en Handa.

## Suecia

Suecia tiene una gran industria forestal y agricultura, sin embargo, se encuentra regulada para un desarrollo sostenible y valores ambientales. Protege gran parte de sus bosques y áreas, solo ha estimado áreas específicas para la industria forestal de donde se

extraen y proviene la mayoría de residuo forestal que se utiliza para generar energía.

(Johnny de Jong, 2017).

Actualmente se genera energía para la calefacción de las casas, sin embargo, se tienen planificadas nuevas plantas de biomasa que combinan energía y calor para Estocolmo, Gotemburgo, Malmö y Upsala mientras se llevan a cabo otras plantas para ampliar su potencial, así está mostrando el camino correcto para generar energía por medio de biomasa a todos los sectores de la sociedad, en la calefacción, producción de energía eléctrica, para la industria y el transporte (Ericsson, Huttunen, Nilsson, & Svenningsson, 2005).

El 20% de los combustibles para el transporte son biocombustibles, este avance se ha logrado gracias a un gran apoyo político y leyes sobre el carbono, han logrado cambiar a tecnologías inteligentes y rentables para la utilización de biomasa como fuente de energía con fuertes incentivos generales. A pesar de que la mayoría de biomasa es forestal el volumen de los bosques se ha duplicado. (Sebio, 2017). En la figura 33 se puede observar que la generación con biomasa es la más utilizada en Suecia y representa 34.3% de la generación total del país.

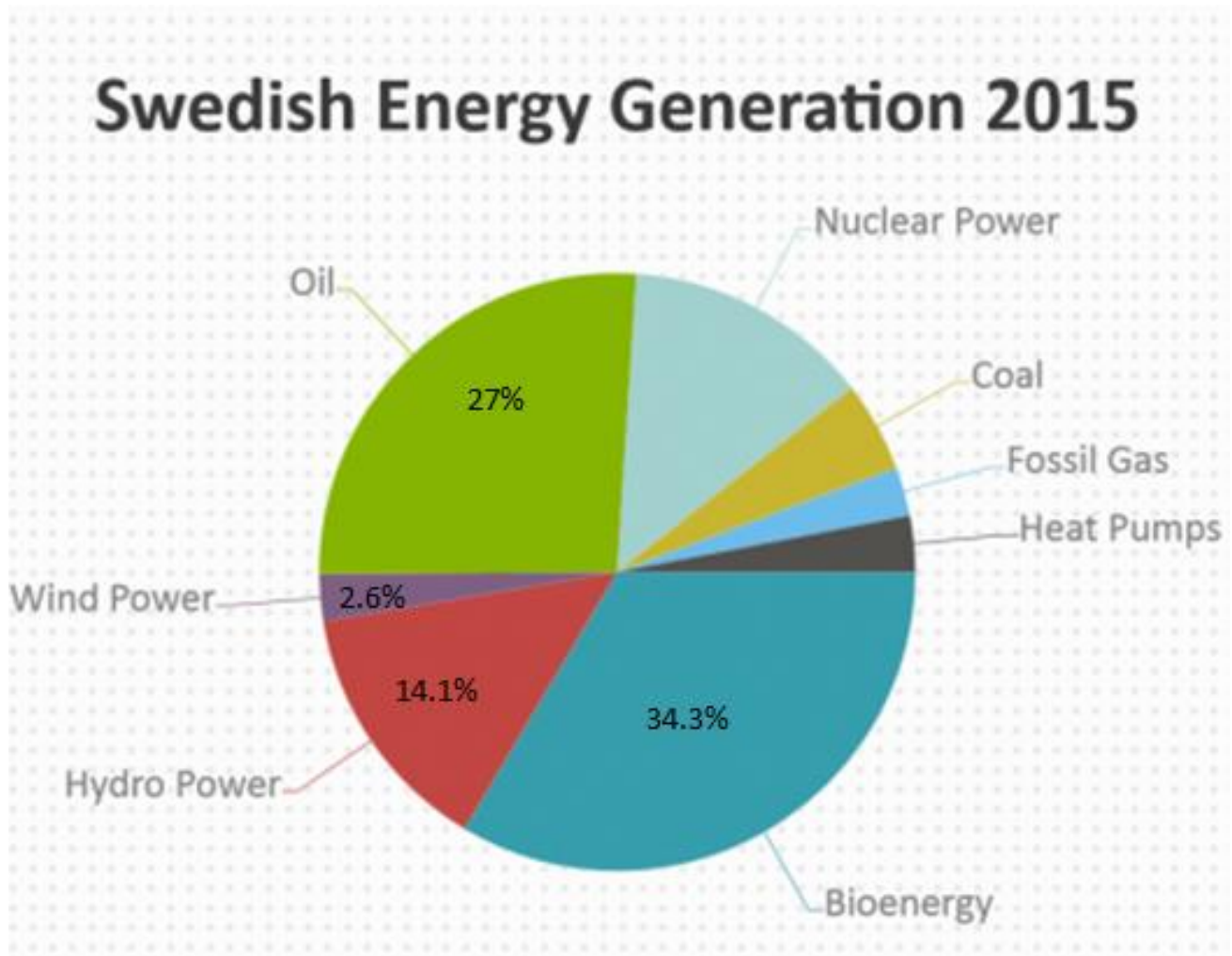


Figura 33. Matriz energética de Suécia.

**Fuente:** (Swedish Biomass Solutions, 2016)

En el anexo 16 se observa que los residuos más utilizados son urbanos y forestales. En el caso de la planta más grande se utiliza una combinación con carbón y biocombustibles, la cual genera 526MW. La planta con mayor producción de energía solo utilizando biomasa utiliza astillas de madera y produce 293MW.



**Tailandia**

Tailandia es un país que basa su economía básicamente en la agricultura, el cual aprovecha los residuos producto de esta actividad para generar energía. Los principales residuos son cascara de arroz, bagazo de caña y concha de palma. La industria usualmente utiliza combustibles fósiles, lo que se ha reconocido como un problema por el alto precio de adquisición y problemas para largos transporte de este (Delivand, Barz, & Gheewala, 2011).

Esta necesidad se identificó hace 10 años, cuando los precios del petróleo empezaron a elevarse, por lo que se empezó a reemplazar por biocombustibles, lo que redujo los costos de producción y se eliminaban los residuos en las plantas. (Ministry Of Energy, 2015).

El consumo de energía de Tailandia se proyecta a seguir creciendo por lo que intenta aumentar la seguridad energética promoviendo fuentes renovables ya que más de la mitad de su suministro de energía depende de fuentes extranjeras.

La biomasa es la segunda energía renovable más generada, junto con el biogás representan el 58% de la energía renovable generada (Prasertsan & Sajjakulnukit, 2006) según la figura 34. Las plantas se encuentran en el centro y en las provincias tailandesas noroccidentales ya que son zonas muy agrícolas, sin embargo, el gobierno estima generar energía eléctrica urbana con biomasa también. (Kingdom of the Netherlands, 2017).

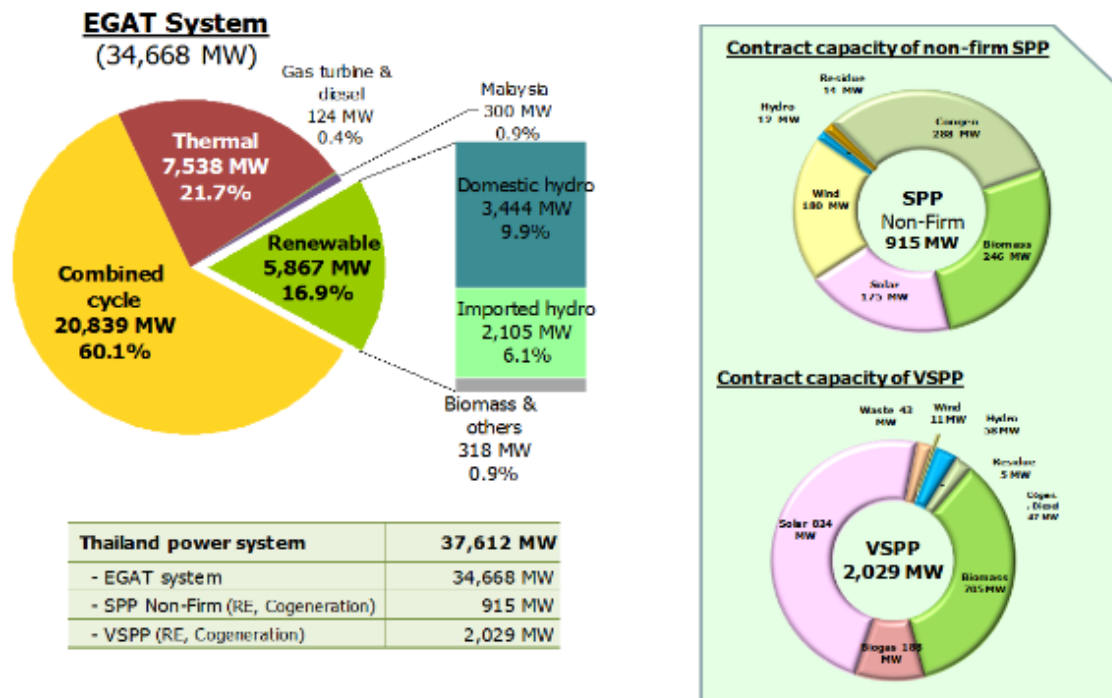


Figura 34. Generación eléctrica doméstica en Tailandia.

Fuente: (Ministry of Energy Thailand, 2015).

En el anexo 17 se observa que las generadoras utilizan residuos agrícolas y forestales como madera y cascara de arroz. La Planta con mayor capacidad instalada es de 150MW.

## Inglaterra

En esta década la generación por energías renovables ha incrementado, teniendo el 19% aproximadamente de su energía por medio de fuentes renovables. La biomasa representa el 28% de la energía generado por las diferentes energías renovables de Inglaterra. (Regensw, 2016).

Inglaterra posee la planta de biomasa más grande del mundo con una capacidad de 740MW como se observa en el anexo 14, está localizada en SevernGorge, Reino Unido. Las instalaciones fueron utilizadas por una planta de generación con carbón. La tecnología fue adaptada para producir energía con biomasa en 2013. (Roca, 2016)

Los cultivos más utilizados son caña, trigo (para producción de biocombustibles), maíz (para digestión anaeróbica), pasto de elefante y cultivo de paja (para biomasa vegetal), los principales usos son para biocombustible para transporte y para calefacción doméstica. (Department for Environment Food & Rural Affairs, 2016).

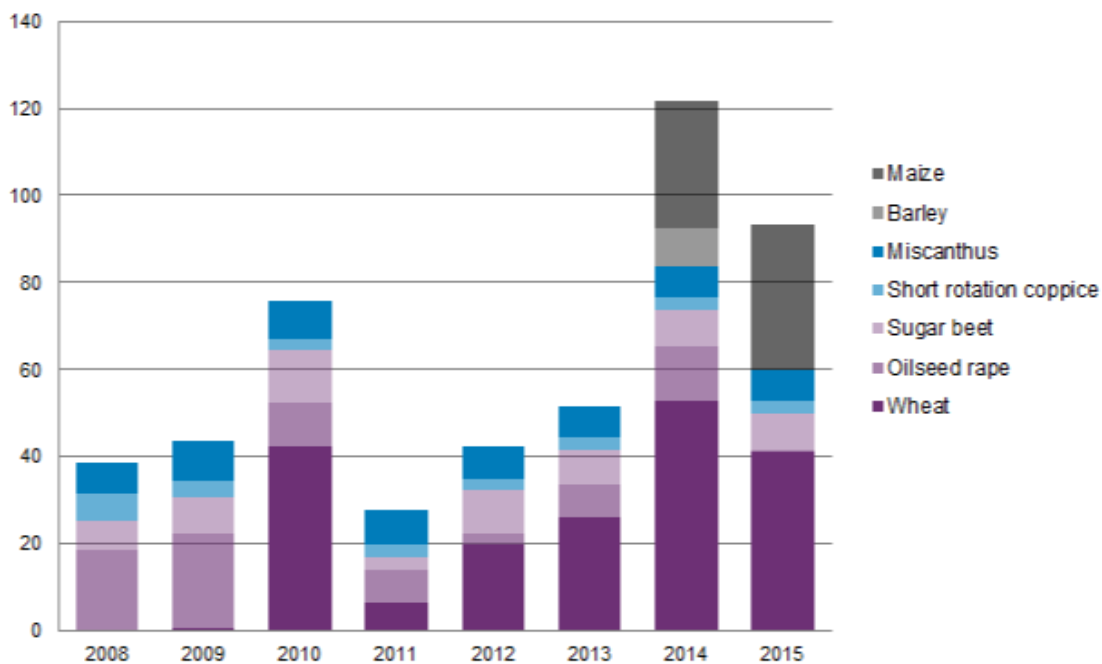


Figura 35. Tipos de energéticos utilizados.

**Fuente:** (Department for Environment Food & Rural Affairs, 2016).

En el 2016 Inglaterra genero el 9.8% del 25.1% que representan las energías renovables, como se muestra en la figura 35.

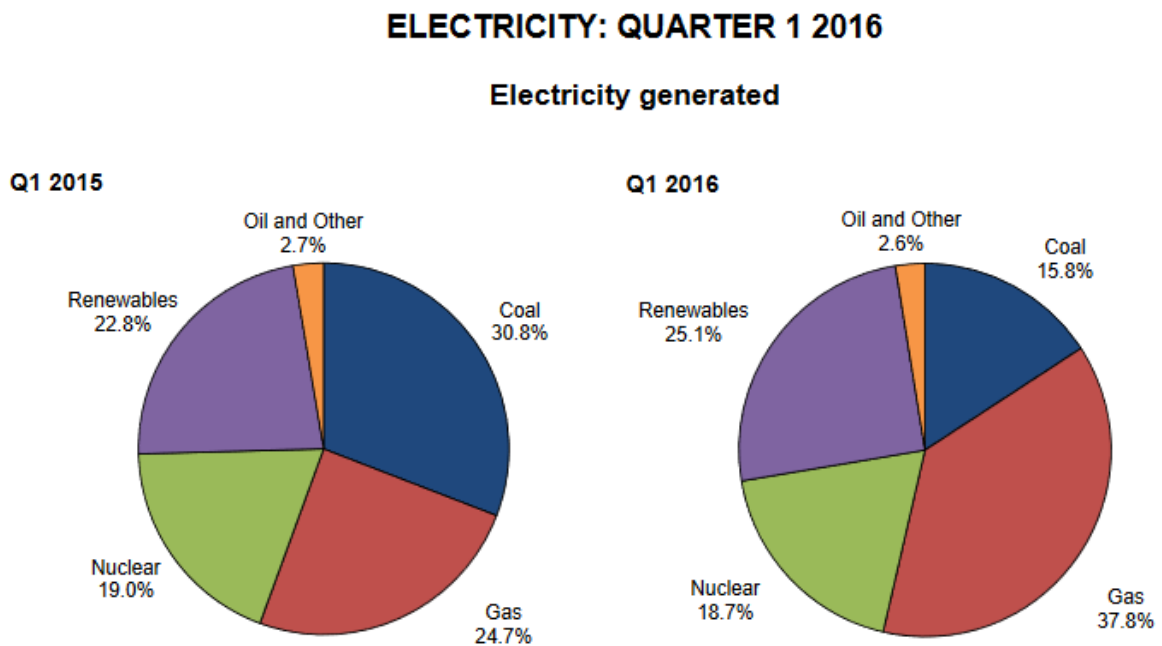


Figura 36. Generación eléctrica de Inglaterra.

**Fuente:** (Department of Energy & Climate Change, 2016).

## Colombia

En Colombia existe una variedad muy amplia de residuos según cada región del país, el cual varía por lo general según la actividad económica que se desarrolla en cada departamento. Actualmente Colombia posee un gran potencial energético debido a la posibilidad de aprovechar los residuos forestales y agrícolas, como son el banano, cascarilla de arroz, pulpa de café y explotaciones silvícolas.

La mayoría de los países en vía de desarrollo siguen usando la biomasa de manera tradicional, por eso la importancia de que este material sea organizado y se pueda aprovechar para generar energía; actualmente Colombia el 44,7% de las hectáreas que

posee están destinadas a la actividad agropecuaria, es esta actividad en una de los potenciales más grandes de biomasa en el país.

A continuación, son relacionados algunos de los residuos que genera Colombia según el Atlas de Biomasa del Ministerio de Minas y energía:

Tabla 9. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector agrícola.

<b>Potencial energético departamental para biomasa residual del sector agrícola</b>		
<b>Departamento</b>	<b>Área sembrada(ha)</b>	<b>Potencial energético (TJ/año)</b>
Antioquía	325.738,00	2.063,92
Atlántico	11.726,00	6,09
Bolívar	125.453,00	114,35
Boyacá	45.363,00	121,06
Caldas	121.189,00	641,65
Caquetá	29.469,00	284,83
Cauca	129.520,00	457,41
Cesar	141.734,00	72,69
Córdoba	132.212,00	970,16
Cundinamarca	124.894,00	261,75
Choco	42.864,00	359,11
Huila	193.236,00	409,43
La Guajira	22.090,00	48,76
Magdalena	93.548,00	52,81
Meta	189.145,00	859,52
Nariño	116.737,00	501,72
Norte de Santander	88.398,00	258,85
Quindío	77.388,00	1.161,94
Risaralda	80.286,00	683,55
Santander	124.290,00	206,13
Sucre	62.676,00	26,83
Tolima	272.111,00	965,15
Valle del Cauca	306.202,00	516,50
Arauca	31.111,00	258,66
Casanare	74.413,00	112,26
Putumayo	26.991,00	148,02
Amazonas	877,00	7,05
Guainía	156,00	2,90
Guaviare	11.536,00	74,60
Vaupés	932,00	5,52
Vichada	779,00	3,83
Total	3.003.064,00	11.657,05

Fuente: (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

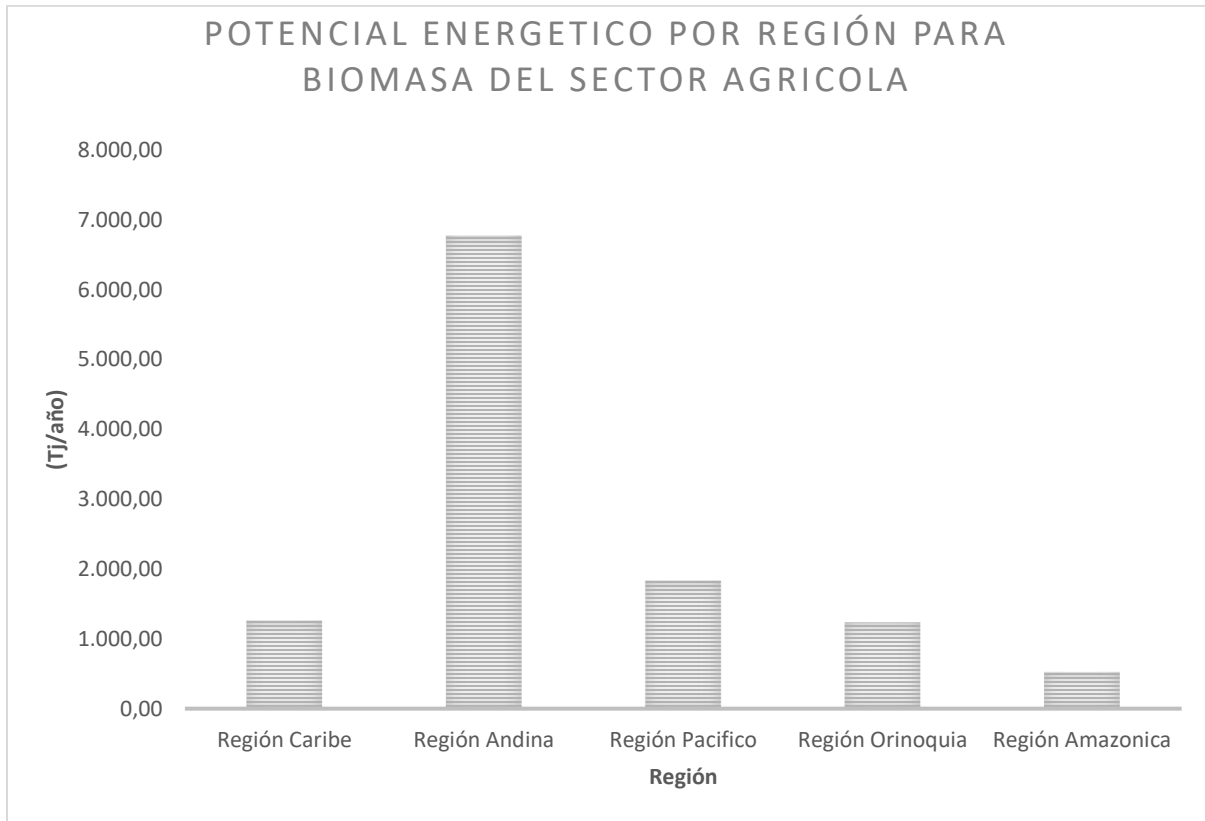


Grafico 5. Potencial energético de biomasa agrícola.

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En la Tabla 9 se reporta la información por región concerniente al área sembrada total de cultivos (ha), producción agrícola generada (t/año), la cantidad de masa de residuo generado (t/año) y su potencial energético (TJ/año). Se puede resaltar que la región andina cuenta con el mayor potencial energético de 6.773 T/año

En el grafico 5 se muestra que, para el aprovechamiento de biomasa proveniente del sector agrícola, directamente relacionado por ser uno de los departamentos con la mayor cantidad de área sembrada, y una gran variedad de cultivos. El Tercer Censo Nacional Agropecuario reveló que Antioquia concentra el 9,2% de los 33,2 millones de

toneladas anuales de la producción agrícola de Colombia (Ministerio de Minas y Energía, 2010).

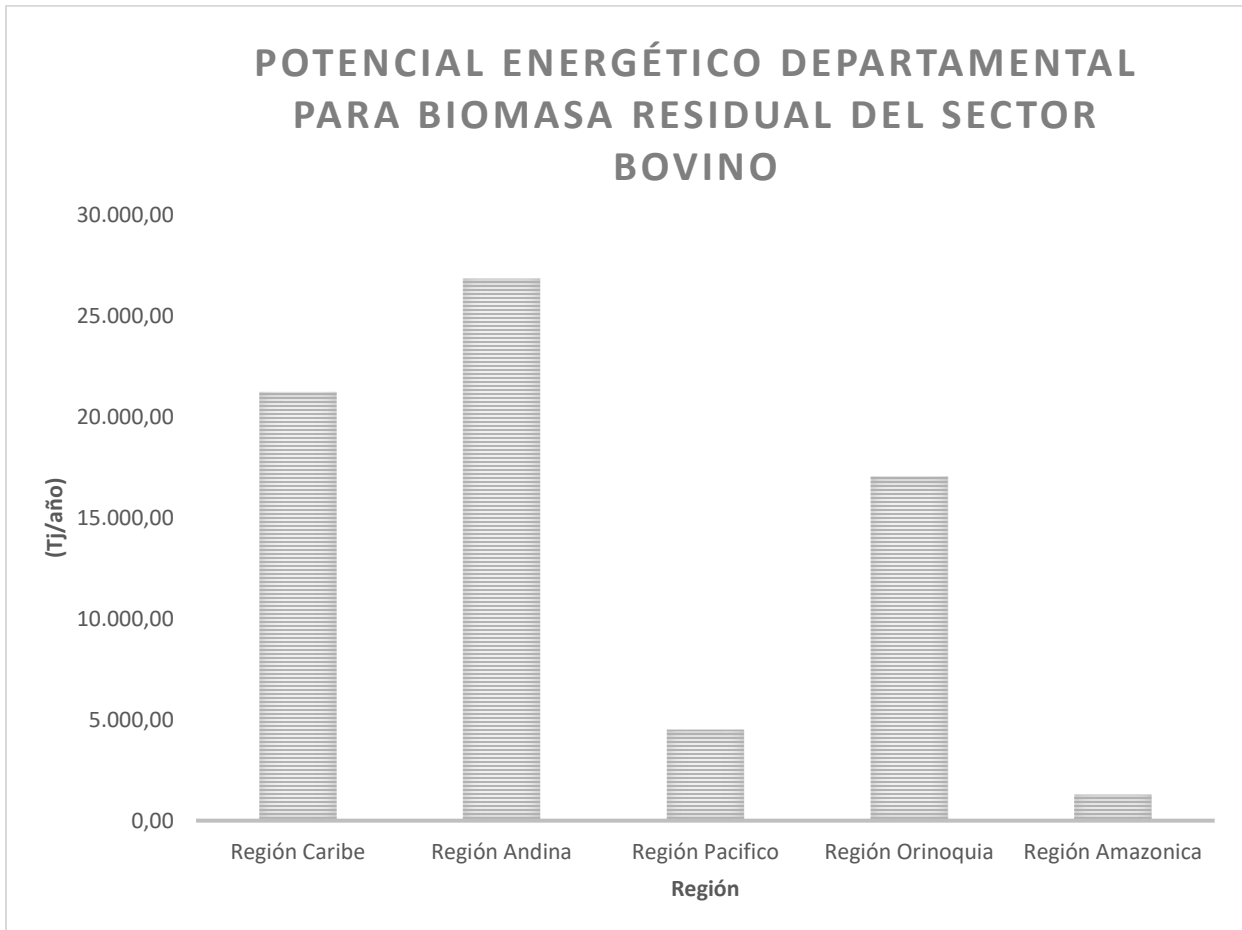
Dentro de los cultivos agroindustriales, el 79% del total del área agrícola cosechada correspondió a café, palma de aceite y caña panelera. Mientras que, en producción, el 82% estaba representado por caña de azúcar, caña panelera y palma de aceite. Colombia posee altos potenciales en residuos de diferentes productos agrícolas, lo que brinda la posibilidad de generar biocombustibles o electricidad. Se han realizado algunos estudios para generar biocombustibles en la Orinoquia (Forero, GNECCO, & Torres, 2016), que dan un ejemplo de la posibilidad de usar este tipo de energía en Colombia. Brasil y Tailandia son casos muy puntuales para seguir por Colombia, ya que son países que basan gran parte de su economía en la agricultura y por tanto generan con residuos de este sector.



Tabla 10. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector bovino.

Potencial energético departamental para biomasa residual del sector bovino		
Departamento	Población (cabezas/año)	Potencial energético (TJ/año)
Antioquía	2.655.856,00	8.835,93
Atlántico	254.169,00	1.024,27
Bolívar	892.013,00	3.608,60
Boyacá	766.628,00	2.360,72
Caldas	390.345,00	1.269,79
Caquetá	1.204.803,00	4.974,86
Cauca	250.824,00	922,89
Cesar	1.593.664,00	6.461,85
Córdoba	2.215.079,00	8.351,67
Cundinamarca	1.109.119,00	3.580,56
Choco	127.280,00	473,15
Huila	478.965,00	1.580,97
La Guajira	293.667,00	1.181,41
Magdalena	1.419.319,00	5.744,17
Meta	1.495.820,00	6.408,89
Nariño	314.696,00	1.183,26
Norte de Santander	391.935,00	1.303,96
Quindío	88.394,00	288,75
Risaralda	110.004,00	350,31
Santander	1.509.193,00	4.989,53
Sucre	890.813,00	3.195,80
Tolima	694.013,00	2.290,98
Valle del Cauca	538.201,00	1.936,40
Arauca	683.000,00	2.909,73
Casanare	1.620.700,00	7.103,59
Putumayo	134.208,00	553,71
San Andrés	1.163,00	3,94
Amazonas	7.148,00	26,19
Guainía	4.010,00	18,00
Guaviare	169.000,00	686,94
Vaupés	800,00	3,63
Vichada	145.000,00	631,90
Total	22.449.829,00	84.256,35

Fuente: (Ministerio de Minas y Energías, 2014).



*Grafico 6.* Potencial energético de biomasa animal (bovino).

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En la tabla 10 se reporta la información departamental relacionada con la población, la masa de residuo generado y su potencial energético para las actividades del sector bovino en cada uno de los departamentos.

En el grafico 6 se observa que la región andina, específicamente el departamento de Antioquia se consolidó en el primer puesto en materia de producción bovina. Según cifras reveladas por la oficina de Planeación del FNG, esta zona del país concentró para 2014 un hato de dos millones 543 mil 153 semovientes, los cuales están ubicados en 495

mil 609 predios. El siguiente puesto es para la región caribe en el que lidera Córdoba con 600 mil animales menos. (Vasquez, 2015)

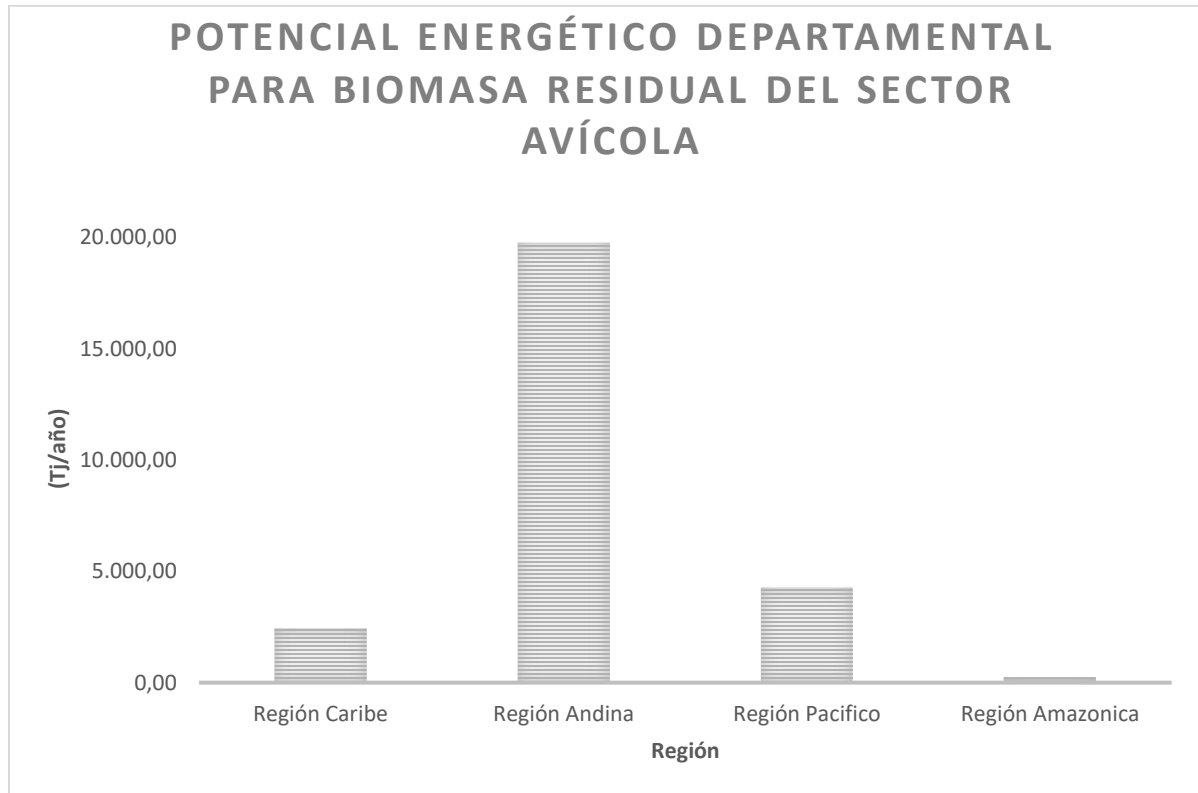
Ese crecimiento del sector y aumento considerable de su censo bovino se debe a varios factores. Algunos están relacionados con lo que viene ocurriendo en subregiones del nordeste, sudoeste y Urabá, zonas en las que la producción bovina ha venido ganando adeptos. Las condiciones climáticas propias del departamento y la especialización de los sistemas productivos de acuerdo con sus trópicos también han influido. (Vasquez, 2015).

Se puede resaltar que el departamento con mayor potencial energético en este sector es Antioquia, relacionado directamente con que cuenta con la mayor cantidad de cabezas/año en el país, y por ende la cantidad de estiércol generada que puede ser usada como fuente de generación de energía eléctrica.

Tabla 11. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector avícola.

Potencial energético departamental para biomasa residual del sector avícola		
Departamento	Población (cabezas/año)	Potencial energético (TJ/año)
Antioquía	8.533.850,00	1.877,40
Atlántico	4.137.270,00	649,78
Bolívar	1.352.800,00	15,57
Boyacá	2.282.662,00	521,20
Caldas	1.011.950,00	121,85
Cauca	2.029.100,00	587,28
Cesar	144.870,00	1.175,94
Córdoba	1.390.150,00	499,74
Cundinamarca	32.312.272,00	7.245,16
Huila	1.600.077,00	279,75
La Guajira	18.700,00	80,64
Magdalena	223.000,00	29,25
Nariño	1.493.025,00	23,17
Norte de Santander	2.467.880,00	437,97
Quindío	3.577.380,00	950,15
Risaralda	2.779.970,00	762,19
Santander	27.606.680,00	7.027,16
Sucre	246.700,00	2.465,84
Tolima	3.553.365,00	522,37
Valle del Cauca	18.058.422,00	3.661,65
Putumayo	46.550,00	248,85
Total	114.866.673,00	29.182,91

Fuente: (Ministerio de Minas y Energías, 2014).



*Grafico 7. Potencial energético de biomasa animal (Avícola).*

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En la tabla 11 se reporta la información departamental relacionada con la masa de residuo generado y su potencial energético para las actividades del sector avícola en cada uno de los departamentos. Se puede resaltar que la región con mayor producción es la andina. El departamento que tiene potencial energético en este sector es Cundinamarca, en el grafico 7, se observa que el potencial energético que posee es de 19.745 T/año.

Según el primer censo avícola industrial, Cundinamarca es el primer departamento por número de granjas. Según el censo, el día de la entrevista había en el país 34.875.723 pollos de engorde, 23.156.248 millones de ponedoras comerciales y 3.959.369 reproductoras. Del total de granjas de pollo existentes, Cundinamarca cuenta

con 581, seguido de Santander (50), Valle (21) y Antioquia (12); los 1.206 planteles restantes se encuentran en los demás departamentos. (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Se encuentra una relación directa en Cundinamarca con la mayor cantidad de cabezas/año con que cuenta en el país, y por ende la cantidad de estiércol generada que puede ser usada como fuente de generación de energía eléctrica.

Tabla 12. Potencial energético departamental para biomasa residual del sector porcino.

<b>Potencial energético departamental para biomasa residual del sector porcino</b>		
<b>Departamento</b>	<b>Población (cabezas/año)</b>	<b>Potencial energético (TJ/año)</b>
Antioquía	1.072.601,00	1.281,93
Atlántico	44.232,00	29,74
Bolívar	36.021,00	22,36
Boyacá	124.200,00	167,08
Caldas	71.593,00	77,54
Caquetá	74.354,00	81,12
Cauca	80.423,00	93,98
Cesar	41.148,00	37,60
Córdoba	303.007,00	326,15
Cundinamarca	553.566,00	760,83
Huila	26.782,00	29,45
La Guajira	108.716,00	114,35
Magdalena	30.543,00	29,71
Meta	104.753,00	146,56
Nariño	155.989,00	157,30
Norte de Santander	46.225,00	42,58
Quindío	44.763,00	45,26
Risaralda	95.178,00	104,22
Santander	90.258,00	83,32
Sucre	87.030,00	85,60
Tolima	94.827,00	125,19
Valle del Cauca	372.010,00	357,97
Arauca	40.496,00	59,28
Casanare	40.027,00	35,89
Putumayo	10.738,00	13,44
<b>Total</b>	<b>3.749.480,00</b>	<b>4.308,45</b>

Fuente: (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

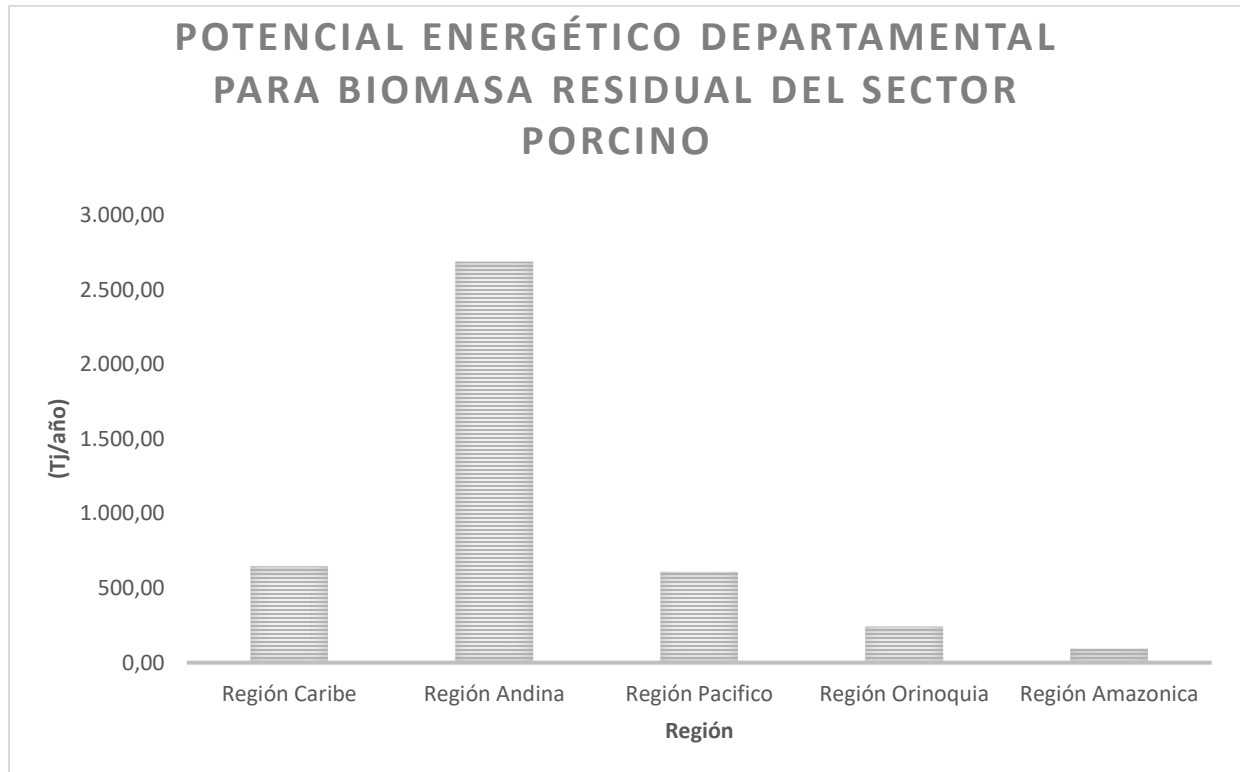


Grafico 8. Potencial energético de biomasa animal (Porcino).

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En la tabla 12 se reporta la información departamental relacionada con la población, la masa de residuo generado y su potencial energético para las actividades del sector porcino en cada uno de los departamentos.

En el grafico 8 se observa que la región andina posee un potencial de 2.687 T/año en este sector. Antioquia posee el mayor número de cabezas por año; el sacrificio de ganado porcino en el primer semestre de 2016 tuvo un crecimiento de 17,3 % comparado con el mismo periodo del año anterior, al pasar de 1,63 millones a 1,94 millones de cerdos. En este rubro, Antioquia también es líder, concentrando 47,5 % de los porcinos sacrificados en Colombia, y contabilizando 925.477 en los seis primeros meses de este



año, un repunte de 19,1 % frente a los 776.554 animales del primer semestre de 2015, esto está directamente relacionado con la región que más potencial posee que es la andina. (Franco D. C., 2015).

La utilización de residuos de origen animal no es tan utilizada a nivel mundial según el análisis realizado, sin embargo, existen países como Estados Unidos, Inglaterra y Japón que utilizan residuos de origen animal, específicamente de pollo. El manejo de residuos de pollos es más fácil que del ganado o porcino por las características de crianza.

Teniendo en cuenta la cantidad de potencial que Colombia tiene en los diferentes residuos de origen animal, es muy importante realizar estudios para determinar cómo se acumularía los desechos para obtención y transformación de la energía.

*Tabla 13.* Potencial energético por capital departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado.

<b>Potencial energético departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de centros de acopio y plazas de mercado.</b>			
<b>Departamento</b>	<b>Población</b>	<b>Cantidad anual de residuos</b>	<b>Potencial energético (TJ/año)</b>
Bogotá	7952375	36912	35,96
Medellín	3306490	15754	11,7
Cali	2593563	19451	17,74
Barranquilla	1737327	9770	5,18
Bucaramanga	1024350	9812	2
Cartagena	892545	1365	0,87
Cúcuta	587676	4869	0,99
Ibagué	498401	8531	8,3
Pereira	443554	1793	1,33
Villavicencio	384131	1817	0,81
Manizales	379972	3676	2,73
Montería	378970	6455	4,11

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

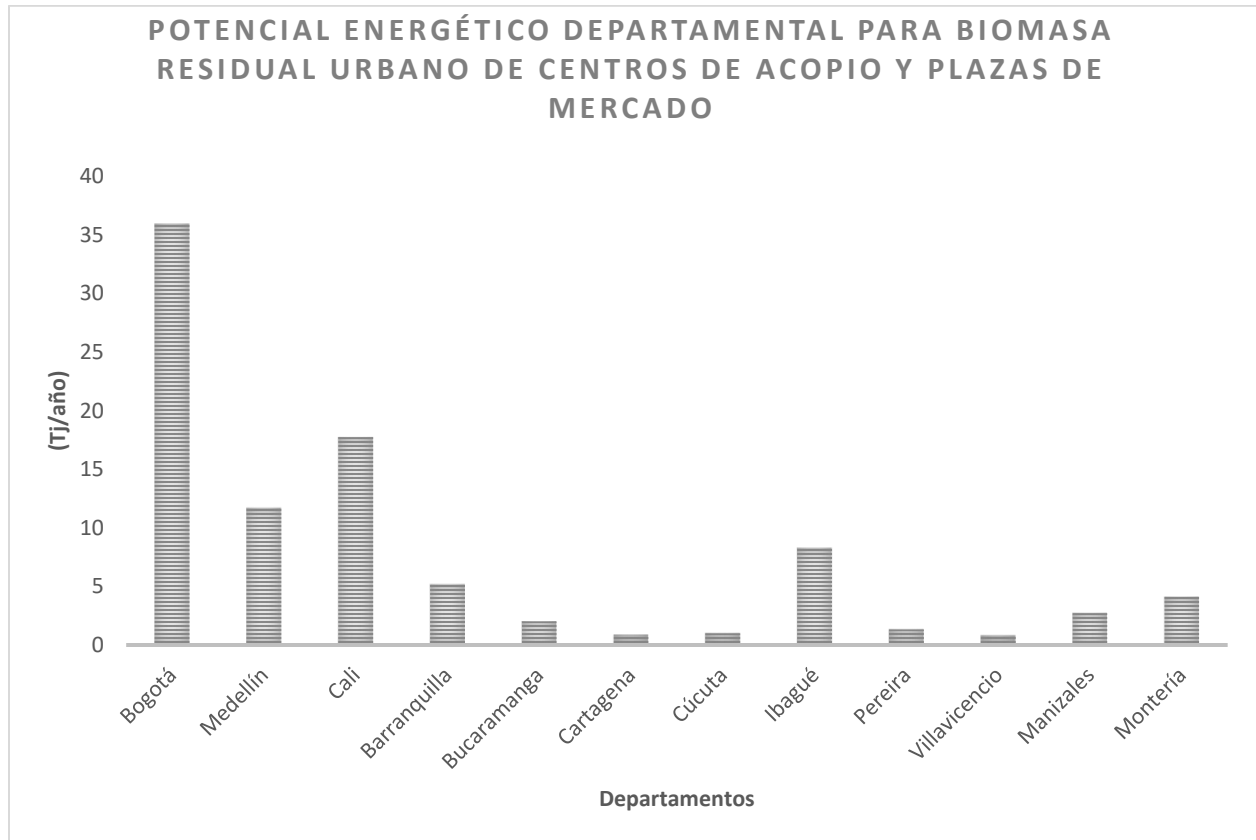


Grafico 9. Potencial energético de biomasa urbana (centros de acopio y plazas de mercado).

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En las tablas 13, la información disponible para este sector corresponde a doce cabeceras municipales, en ellas se presenta la cantidad de biomasa residual reportada por las entidades competentes, así como la estimación de su potencial energético, para plazas de mercado y centros de acopio.

Se puede observar que la cabecera municipal con mayor potencial energético es Bogotá como se observa en el grafico 9, relacionado por la mayor generación anual de cantidad de residuo, siendo la cabecera municipal con mayor densidad poblacional que

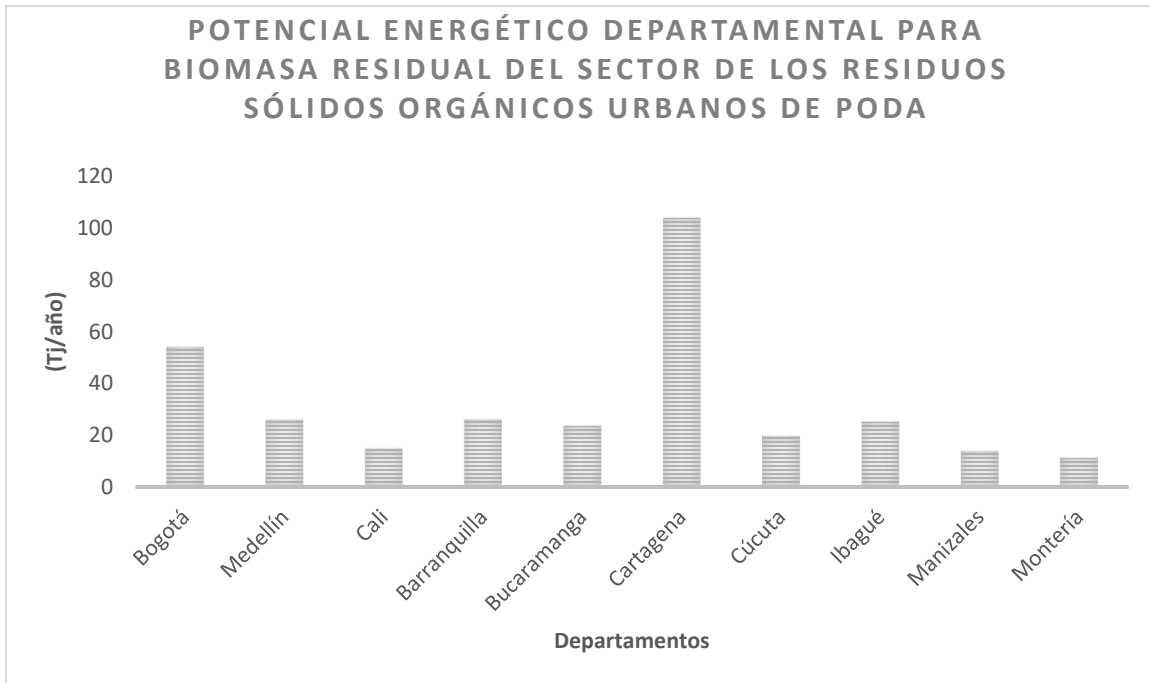
tiene el país. Por lo tanto, existe una gran cantidad de residuos sólidos orgánicos que pueden ser usados en la generación de energía eléctrica.

Según los potenciales energéticos mostrados en las tablas 9, 10, 11 y 12, se puede observar que cada región posee un tipo de residuos característico de la actividad económica que ahí se desarrolló, lo que permitiría la posibilidad que sea utilizado los residuos que se generan en la misma región producto de las actividades de la población que ahí se encuentra para evitaría gastos en transporte de residuos.

*Tabla 14.* Potencial energético por capital departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de poda.

<b>Potencial energético departamental para biomasa residual del sector de los residuos sólidos orgánicos urbanos de poda.</b>		
<b>Departamento</b>	<b>Cantidad anual de residuos (t/año)</b>	<b>Potencial energético (TJ/año)</b>
Bogotá	7892	53,95
Medellín	7156	25,89
Cali	2232	14,76
Barranquilla	1988	26,1
Bucaramanga	5037	23,52
Cartagena	7922	103,97
Cúcuta	4212	19,66
Ibagué	3685	25,19
Manizales	3832	13,86
Montería	855	11,23

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).



*Grafico 10.* Potencial energético de biomasa urbana (de poda).

**Fuente:** (Ministerio de Minas y Energías, 2014).

En la tabla 14, se observa que la ciudad con mayores residuos es Cartagena siendo la que mayor potencial energético posee, posiblemente relacionado con la actividad económica de la ciudad que en su mayoría es el turismo, le sigue Bogotá y Medellín.

Anteriormente se ha mostrado los diferentes potenciales que existen en las diferentes regiones y departamentos del país. En Colombia el sector pecuario cuenta con el 76% del área total destinada a actividades agropecuarias, lo que se divide en 40% por explotación bovina, 40% para la explotación avícola, 10% por la actividad porcícola y el 10% restante para actividades caprinas, (Ministerio de Agricultura, 2006). En otras palabras, esto se traduce en grandes cantidades de estiércol, lo que se convierte en un

amplio potencial energético de biomasa en Colombia, sin embargo, es un área que necesita ser explorado para conocer las oportunidades con este tipo de residuos.

Según el atlas de biomasa realizado por la UPME, Colombia también fuentes muy importantes de biomasa residual urbana debido a la generación de residuos por día en cada cabecera municipal. De los países analizados anteriormente 9 utilizan RU como son Filipinas, Francia, Inglaterra, Escocia, Suecia, Japón, Finlandia, Brasil y Estados Unidos. Esto se debe a que se puede usar casi cualquier cosa como son: trozos de madera, papel reciclado, plástico, cartón, turba, desechos domésticos, gas de rellenos sanitarios, residuos derivados de llantas, entre otros; es decir, que no existen restricciones para generar con residuos urbanos y que a la vez contribuye con la minimización de espacios que se viene empleando para desechar la “basura”.

La biomasa residual en Colombia puede ser una fuente de energía renovable con mucho potencial aprovechada con residuos agrícolas, animales y urbanos. Los departamentos donde se generan la mayor cantidad de residuos son Antioquia, Cundinamarca, Santander, Valle del Cauca, Córdoba, Casanare y Tolima, estos se encuentran en diferentes regiones del país como es la región andina, pacífico, caribe y Orinoquia, de esta manera se constituye una oportunidad para fomentar la iniciativa de la industria y de la población a realizar generación distribuida con residuos de la misma comunidad o de las diferentes industrias que existen en estas regiones.

Es importante que en Colombia se creen leyes que sean más rigurosas con el uso racional de la energía y reciclaje como en Estados Unidos y Japón, para que sea más fácil la clasificación y uso de los residuos. Además, deben existir incentivos por parte del

gobierno para fomentar la iniciativa para generar energía por medio de biomasa, en el sector industrial y doméstico teniendo en cuenta los potenciales disponibles de biomasa en las diferentes regiones del país.

**Capítulo 5****Conclusiones y Recomendaciones****Conclusiones**

La presente investigación permite conocer la capacidad instalada en MW y el material energético utilizado en 17 países seleccionado. Se logró determinar que en América y Asia el tipo de residuos más utilizado es de origen Agrícola. Los residuos de esta actividad económica (agricultura) son aprovechados para obtener energía y a la vez se eliminan volúmenes de “basura”. En países europeos los energéticos más utilizados son de origen forestal y urbano debido a los grandes bosques y centros urbanos que poseen, así se evidencia la influencia de las actividades económicas, posición geográfica y condiciones climáticas de cada continente en el desarrollo de la biomasa como fuente de energía.

En el estudio se logró determinar que el estado de la materia más utilizado es Sólido, debido a la facilidad para extraer la energía que posee el material por sus características físicas, en este estado el material puede ser transportado fácil y usualmente se utiliza para combustión directa, una de las formas más comunes para generar energía. El segundo estado más usado es líquido, utilizado principalmente por medios de transporte después ser transformados en biocombustibles en países como Brasil, Estados Unidos, Suecia y Finlandia.

Se determinó que los países analizados han potencializado la biomasa como fuente de energía mediante estudios para determinar los residuos con mayor potencial de energía que poseen y en que regiones se encuentran. Con políticas y proyectos para el

reciclaje, aprovechamiento de los residuos agrícolas, forestales, ganaderos y urbanos han logrado introducir la biomasa en su matriz energética. Los países que mayor potencial poseen son Brasil, Estados Unidos, Suecia, Finlandia, Inglaterra, Francia y Japón.

Brasil ha introducido la biomasa en su matriz energética desde hace mucho tiempo, esto se inició mediante políticas agrícolas, en las que incentivaba primeramente a la industria azucarera a generar energía eléctrica con el bagazo de caña para su propio consumo, debido a la dependencia de dos fuentes de energía (hidroeléctrica y termoeléctrica). En la actualidad, se ha avanzado tanto en ese mercado que la biomasa es la fuente renovable que más energía produce en Brasil, aproximadamente el 42% de las FNCER. La biomasa es utilizada en todo el país, especialmente en zonas apartadas con sistemas de generación distribuida, porque es un país con zonas de difícil acceso. Brasil es una guía fundamental para Colombia ya que posee características similares en el relieve, clima y en el tipo de alimentos cultivados como son café, caña de azúcar, arroz, entre otros. La extensión del territorio brasileiro ha incentivado la descentralización de la generación de energía para evitar largos trayectos para transmitir la energía, este es uno de los problemas que también se presenta en Colombia por las características geográficas, aplicar este sistema beneficia la confiabilidad y seguridad de la red nacional.

El salvador ha creado un plan maestro de generación con energía renovable para migrar a FNCER, esta necesidad surgió porque el 100% del combustible utilizado es importado, lo que genera inestabilidad en la economía del país. Para Colombia es fundamental realizar un plan maestro para disminuir el consumo de combustibles fósiles, en el que se vislumbre las necesidades y proyecciones con energías renovables en



diferentes puntos críticos del país como es en la región Pacífica, Orinoquia y Caribe a corto plazo.

En Chile el 50% de la energía es producida con energías renovables; lo han logrado mediante un plan piloto del gobierno para generar energía en zonas rurales con residuos forestales. En Colombia existen muchas zonas rurales e islas en las que se genera energía mediante generadores diésel que utilizan combustibles fósiles, crear planes pilotos como el que se realizó para Isla Fuerte, son oportunidades para brindar un desarrollo sostenible, disminución de la contaminación por generación y mayores oportunidades para poblaciones rurales.

Japón enseña el concepto de “basura” combustible, este término fue creado porque cualquier elemento es reciclado, clasificado y reusado, como son electrodomésticos, residuos orgánicos, residuo animal, repuestos de carros, entre otros elementos; de los cuales algunos son usados para generar energía eléctrica. Es muy importante que Colombia entienda la importancia del reciclaje y las ventajas que tiene en el desarrollo ambiental del país, es decir, que mediante leyes puede promover el reciclaje y generar pequeñas sanciones para quien no las cumpla, de esta manera será más fácil reusar la “basura” y así mismo generar energía con esta.

Filipinas representa para Colombia un caso de poligeneración muy específico, ya que este país está constituido por muchas islas, las cuales son autosustentables usando en su mayoría generación con biomasa de residuos agrícolas. Si este tipo de iniciativas se empiezan a proyectar en Colombia, brindaría ventajas económicas y sociales porque el lugar donde se desarrollaría la iniciativa será energéticamente independiente utilizando

sus mismos recursos y a su vez generando nuevos empleos para la comunidad que ahí habita.

Estados Unidos y Suecia son países con grandes áreas territoriales y en lo que se ha venido desarrollando y utilizando los biocombustibles en el medio de transporte. En Suecia el 20% del medio de transporte utiliza biocombustibles, así se minimiza la contaminación urbana y disminución de desechos. Este caso aplica para las principales ciudades de Colombia, en las que ha venido aumentando la contaminación en los últimos años debido a la creciente adquisición de vehículos y producción industrial.

Se determinó que en Colombia la región con mayor potencial de biomasa es la andina seguida por la región caribe. En estas regiones influyen diversos factores, como el clima, posición geográfica y mayor cantidad de hectáreas, favoreciendo así las actividades agrícolas y ganaderas, es decir, que en esta región es más factible hacer uso de residuos de origen animal como el caso de Estados Unidos, donde utilizan residuos avícolas para obtener energía. Hasta ahora no se tienen tantos desarrollos tecnológicos para generar con otro tipo de residuo animal diferente del avícola. Por eso la importancia de que el gobierno colombiano invierta en investigación partiendo de los potenciales energéticos conocidos y así desarrollar tecnologías para generar energía.

U.S. Genera 4.041MW y Finlandia 1.710MW con residuos sólidos urbanos, en los que utilizan residuos como madera, papel, cartón, gases de rellenos sanitarios, entre otros elementos, obteniendo de esta manera altos potenciales con este tipo de residuos. Los residuos sólidos urbanos más altos que se producen en Colombia son en Cartagena, debido a actividades como el turismo, le sigue Bogotá el cual también tiene altos

potenciales por ser la ciudad más poblada en Colombia, esto implica que Colombia tiene oportunidad para generar con este tipo de residuo, no en la misma proporción que U.S o Finlandia, pero de tal manera que pueda contribuir con biocombustibles o generación de energía eléctrica.

Finlandia ha aprovechado tecnologías existentes para generación con combustibles fósiles y las han adaptado para ser generar con biomasa. De esta manera a reutilizado infraestructura existente y así mismo han evitado gastos para nuevas tecnologías. En Colombia es una muy buena opción adaptar plantas existentes ya que posee un número significativo de plantas termoeléctricas.

Se concluye que Colombia posee un gran y amplio potencial energético con residuos de origen agrícola, animal y urbano. Para lo cual ha venido desarrollando estudios que permitan conocer y establecer el potencial energético que posee de esta fuente de energía y en qué sector se produce la mayor cantidad, sin embargo, hacen falta políticas y mayor fomento por parte del gobierno para que esto se desarrolle más ampliamente en el país.

Esta investigación constituye una oportunidad para identificar prácticas implementadas en otros países y tomar ejemplo de modelos como los de Suecia, Brasil, Estados Unidos, Finlandia, Filipinas, Japón, Chile. Países en los que se ha aprovechado los recursos desde la parte industrial, doméstica y comercial para generar energía minimizando contaminación, gastos en combustibles fósiles, volúmenes grandes de basura. Brindando a la población generación de nuevos empleos y mejora de la economía local.

En Colombia generar energía eléctrica con biomasa sería una gran oportunidad para evitar inconvenientes cuando haya fenómenos ambientales que disminuyan los embalses y por ende la producción de energía eléctrica, poniendo en riesgo la seguridad del sistema eléctrico colombiano. Con esta fuente de energía es posible generar energía en zonas muy apartadas o de muy difícil acceso, favoreciendo la economía local y creando conciencia ambiental para el país; generar biocombustibles para medios de transporte y energía térmica para procesos industriales.

**Recomendaciones**

1. Para la aplicación de generación distribuida se recomienda seguir modelos energéticos de los países con mayor extensión geográfica y mayor producción de energía eléctrica por medio de biomasa, como son Brasil, Suecia, Finlandia Estados Unidos y Filipinas.
2. Hacer actualización de potencial energético que posee Colombia para determinar con exactitud cuál es el potencial que existe actualmente.
3. Se recomienda que la generación de energía por medio de biomasa sea fomentada, proyectándola como una energía que puede ser aprovechada localmente y que no necesita de ser transportada a otros lugares con grandes distancias.
4. Para disminuir la dependencia de 2 fuentes de energía como que varían según fenómenos climatológicos y precios de combustibles fósiles como son la hidráulica y térmica, se recomienda proyectar la biomasa como una energía que pueda respaldar en caso de emergencia y aportar al SIN.
5. Para el aprovechamiento de biomasa es posible modificar la tecnología de las plantas térmicas para que el combustible utilizado sea biomasa, lo que disminuye gastos en tecnología.
6. Se recomienda realizar estudios para conocer que tecnologías permitirían generar energía eléctrica con residuos animales y así aprovechar el gran potencial que tiene Colombia en este tipo de material.

7. Por último, es importante que el país tenga una proyección más amplia y pueda realizar estudios que permitan realizar uso de biocombustibles para el transporte público, como lo han hecho en Suecia.

## Referencias

- Adrian, R. y. (Febrero de 2014). *Wordpress*. Obtenido de <https://matutebd.wordpress.com/fuentes-de-energia-renovables/energia-de-biomasa/tratamiento/procesos-termoquimicos/>
- Agawin, Duarte, & Agusti, M. (2003). Abundance, biomass and growth rates of *Synechococcus* sp. in a tropical coastal ecosystem (Philippines, South China Sea). *Estuarine, Coastal and shelf Science*.
- Alianza clima y desarrollo. (31 de Marzo de 2014). *CDKN*. Obtenido de [https://cdkn.org/2014/03/progreso-sostenible-con-energia-solar-el-caso-de-isla-fuerte-colombia/?loclang=es\\_es](https://cdkn.org/2014/03/progreso-sostenible-con-energia-solar-el-caso-de-isla-fuerte-colombia/?loclang=es_es)
- Almudena. (13 de Marzo de 2014). *Twenergy*. Obtenido de <https://twenergy.com/co/a/la-biomasa-en-colombia-el-gran-reto-para-generar-energia-sustentable-1140>
- Alvarez, L. G. (6 de Septiembre de 2011). *Breve Hoistoria del Sector Electrico Colombiano*. Medellin . Obtenido de <http://luisguillermovelezalvarez.blogspot.ch/2011/09/breve-historia-del-sector-electrico.html>
- Amorocho, E., & Oliveros, G. (2000). *Apuntes Sobre Energia y Recursos Energeticos*. Bucaramanga: Univeridad Autonoma de Bucaramanga.
- Andersen, Towers, & Smith. (2005). Assessing the potential for biomass energy to contribute to Scotland's renewable energy needs. *Biomass and Bioenergy*.
- ANEEL. (16 de Enero de 2009). *ANEEL*. Obtenido de [http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas\\_par2\\_cap4.pdf](http://www2.aneel.gov.br/arquivos/pdf/atlas_par2_cap4.pdf)
- ANEEL. (30 de Enero de 2018). *Codigo de emprendimiento de generacion*. Obtenido de [http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Entenda\\_o\\_CEG.asp](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/capacidadebrasil/Entenda_o_CEG.asp)
- Apergis, N., & Payne, J. (2010). The renewable energy consumption–growth nexus in Central America. *Applied Energy*.
- Aprende con Energia. (Diciembre de 2014). *Educarchile*. Obtenido de <http://www.aprendeconenergia.cl/que-es-una-matriz-energetica/>
- Arnaud Foucault, Peter Meisen. (2011). *Is 100% Renewable Energy Possible in France by 2020?* San Diego: Global Energy Network Institute.
- ASEAN BRIEFING. (19 de MAYO de 2017). *www.aseanbriefing.com*. Obtenido de <https://www.aseanbriefing.com/news/2017/05/19/biomass-industry-philippines.html>
- Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria. (s.f.). *Educacion ambiental*. Obtenido de <http://comunidad.eduambiental.org/file.php/1/curso/contenidos/docpdf/capitulo18.pdf>
- Balza, L., Espinaza, R., & Serebrisky, T. (2016). *¿Luces encendidas? Necesidades de Energía para América Latina y el Caribe al 2040*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Biodiesel ingenieros. (17 de Noviembre de 2010). *Biodiesel ingenieros*. Obtenido de <http://biodieselingeneros.blogspot.com.co/2010/11/proceso-combinado-esterificacion.html>

- BioenergyCrops. (2014). Obtenido de <http://bioenergycrops.com/es/2014/01/20/biomasa-en-colombia-ley-renovables/>
- Braga, L. (18 de Octubre de 2004). *Dióxido de carbono*. Obtenido de <http://www.cricyt.edu.ar/enciclopedia/terminos/DioxiCar.htm>
- Bustos, J., Sepulveda, A., & Triviño, K. (2014). *Zonas no interconectadas Eléctricamente en Colombia*. Bogota: Econografos.
- Calinescu, Vlaicu, Chipurici, Ighigeanu, & Lavric. (2018). Alcoholic fermentation in the presence of microwaves. *Chemical Engineering & Processing: Process Intensification*.
- Campu Frances. (2013). *Renewable energy research France*. Campu Frances.
- Capilla, A. V. (2014). *Thanatia, el destino de los recursos minerales del planeta tierra*. Comana.
- Cardona, C. (2009). Perspectivas de la producción de biocombustibles en colombia: contextos latinoamericano y mundial. *Revista de Ingenieria*.
- Cardona, C., Sanchez, O., Montaya, M., & Quintero, J. (2016). Simulacion de los procesos de obtencion de etanol a partir de caña de azucar y maiz. *Scientia Et Technica*.
- Castells, X. E. (2005). *Tratamiento y valorizacion energetica de residuos*. Madrid: Ediciones Diaz de Santos S.A.
- Castells, X. E. (2012). *Biomasa y Energia*. Madrid: Diaz de Santos.
- Castells, X. E. (2012). *Energias Renovables*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- Castillo, Castrillon, Vanegas, Valencia, & Villicaña. (2014). *Rol de las Fuentes No Convencionales de Energia en el sector electrico colombiano*. Barranquilla.
- Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentacion. (Febrero de 2013). *Agro Waste*. Obtenido de <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/GASIFICACI%C3%93N.pdf>
- Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Alimentacion. (Febrero de 2013). *Agro Waste*. Obtenido de <http://www.agrowaste.eu/wp-content/uploads/2013/02/DIGESTION-ANAEROBIA.pdf>
- Cerdá, E. (2015). Energia Obtenida a partir de Biomasa. *Universidad Complutense de Madrid*.
- CGEE. (Junio de 2001). *Centro de Gestão e Estudos EstratégicoS*. Obtenido de [http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003\\_02.pdf](http://www.cgee.org.br/arquivos/estudo003_02.pdf)
- CIRCE. (15 de Diciembre de 2012). Obtenido de <https://www.camarazaragoza.com/medioambiente/docs/bibliocamara/bibliocamara190.pdf>
- Coherencia. (27 de Enero de 2017). Obtenido de <http://www.coherencia.pe/https-scribd-comdoc212271285001-ideario-final-1-1/sostenibilidad-ambiental/>
- Colombia. (3 de Julio de 2017). *Colombia*. Obtenido de <https://www.colombia.com/colombia-info/informacion-general/flora-y-fauna/>
- Comunidad de Madrid. (2007). *Guía Básica de Generación Distribuida*. Madrid: Graficas Elisa.
- Concejo Nacional de Energía . (2012). Proyecto del Plan Maestro para el Desarrollo de Energias Renovables .



- Consortio Energérico Corpoema. (2010). *Formulacion de un plan de Desarrollo para las Fuentes No Convencionales de Energía en Colombia*. Bogota.
- CREG. (28 de Febrero de 2001). Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/Publicac.nsf/Indice01/Resoluci%C3%B3n-2001-CREG032-2001?OpenDocument>
- CREG. (11 de Enero de 2017). Obtenido de [http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/que\\_es/que\\_es.htm](http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/que_es/que_es.htm)
- Definicion ABC. (15 de Diciembre de 2017). Obtenido de <https://www.definicionabc.com/medio-ambiente/impacto-ambiental.php>
- Delivand, M., Barz, M., & Gheewala, S. (2011). Logistics cost analysis of rice straw for biomass power generation in Thailand. *Energy*.
- Deloitte. (2017). *European energy market reform, Country profile: France*. Deloitte.
- Department for Environment Food & Rural Affairs. (8 de diciembre de 2016). [www.gov.UK](http://www.gov.UK). Obtenido de [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/578845/nonfood-statsnotice2015i-19dec16.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/578845/nonfood-statsnotice2015i-19dec16.pdf)
- Department of Energy & Climate Change. (30 de junio de 2016). [www.gov.UK](http://www.gov.UK). Obtenido de [https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment\\_data/file/532938/Press\\_Notice\\_June\\_16.pdf](https://www.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/532938/Press_Notice_June_16.pdf)
- Department of Energy Philippines. (2016). *DOE*. Obtenido de <https://www.doe.gov.ph/electric-power/2016-philippine-power-situation-report>
- Diaz, L. E. (3 de Junio de 2017). Matriz Energetica de Colombia. *El Pilon*.
- Dinero. (30 de julio de 2015). Obtenido de <http://www.dinero.com/economia/articulo/analisis-produccion-energetica-del-pais-su-competitividad/211733>
- ECPA. (14 de Octubre de 2015). El Salvador transforma su matriz energética. *Alianza de la energia y clima de las Americas*.
- Edsand, H.-E. (2017). *Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context*. Maastricht: Technology in Society.
- EIA. (18 de Marzo de 2014). *U.S Energy Information Administration*. Obtenido de <http://www.eia.gov/todayinenergy/detail.cfm?id=15451>
- Eloy Alvarez Pelegry, Iñigo Ortiz Martinez. (2016). *La transición energetica en Alemania*. Bilbao.
- Energias de mi Pais. (Octubre de 2014). Obtenido de <http://energiasdemipais.educ.ar/la-matriz-energetica-argentina-y-su-evolucion-en-las-ultimas-decadas/>
- Energias Renovables. (19 de Noviembre de 2014). Obtenido de <http://www.energiasrenovablesinfo.com/biomasa/biomasa-ventajas-desventajas/>
- Energias Renovables. (9 de 03 de 2017). En Brasil, la electricidad con biomasa es la segunda fuente más importante y supera al gas. *Energias Renovables*.
- Energy Information Administration. (2017). *Americans use many types of energy*. Whashington D.C.

- EPM. (2004). Obtenido de <http://www.epm.com.co/site/Home/Institucional/Nuestrasplantas/Energ%C3%ADa/ParqueE%C3%B3lico.aspx>
- Ericsson, K., Huttunen, S., Nilsson, L., & Svenningsson, P. (2005). Bioenergy policy and market development in Finland and Sweden. *Energy Policy*.
- European Commission. (2017). *Acciones por el Clima*. Obtenido de [https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020\\_es](https://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2020_es)
- Factorenergia. (6 de Febrero de 2017). Obtenido de <https://www.factorenergia.com/es/blog/eficiencia-energetica/que-es-la-eficiencia-energetica/>
- FAO. (2015). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0x.htm>
- FAO. (2015). Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0z.htm>
- FAO. (2015). *El Salvador*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0v.htm#TopOfPage>
- FAO. (2015). *Food and Agriculture Organization of the United Nations*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/T2363s/t2363s0w.htm>
- Federal Ministry of Food and Agriculture. (2016). <http://www.biobasedeconomy.nl>. Obtenido de Bioenergy in Germany Facts and Figures 2016: [http://www.biobasedeconomy.nl/wp-content/uploads/2017/03/Bioenergy\\_in\\_Germany\\_facts\\_and\\_figures\\_2016.pdf](http://www.biobasedeconomy.nl/wp-content/uploads/2017/03/Bioenergy_in_Germany_facts_and_figures_2016.pdf)
- Feira de Energia. (Abril de 2016). Obtenido de <http://www.fierasdelaingenieria.com/las-plantas-de-energia-de-biomasa-mas-grandes-del-mundo/>
- Forero, GNECCO, & Torres. (2016). Produccion de Biodiesel de Moriche como alternativa energetica para las regiones apartadas de la Orinoquia Colombiana. *Orinoquia*.
- Franco, C., Dynner, I., & Hoyos, S. (2007). *CONTRIBUTION OF THE ENERGY AT DEVELOPMENT OF ISOLATED COMMUNITIES IN NOT INTERCONNECTED ZONES: A CASE OF APPLICATION OF THE SYSTEMS DYNAMICS AND SUSTAINABLE LIVELIHOODS IN THE COLOMBIAN SOUTHWEST*. Medellin: SciELO.
- Franco, D. C. (28 de Septiembre de 2015). *Contexto Ganadero*. Obtenido de <http://www.contextoganadero.com/reportaje/que-ha-hecho-antioquia-para-ser-potencia-en-ganaderia>
- Fundacion Avina . (2016). *La realidad Energetica en Centroamerica: matriz de desafios*.
- Fundacion gasNatural fenosa. (30 de Marzo de 2012). *energylab*. Obtenido de [http://www.energylab.es/fotos/120402092259\\_8Rnd.pdf](http://www.energylab.es/fotos/120402092259_8Rnd.pdf)
- Gobierno de España. (27 de Abril de 2012). *Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentacion y Medio Ambiente*. Obtenido de <http://www.mapama.gob.es/es/cambio-climatico/temas/que-es-el-cambio-climatico-y-como-nos-afecta/>
- Gobierno de Mexico. (31 de Julio de 2012). *energia*. Obtenido de [http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario\\_elec\\_es.pdf](http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf)
- Gomes, K. (5 de 2 de 2014). Para evitar crise, Brasil precisa diversificar matriz energética. *DW Made for minds*.

- González, R. (17 de 12 de 2012). *Twenergy*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/ventajas-de-la-biomasa-767>
- Green Power. (31 de Enero de 2018). *Green Power Nueva Ecija*. Obtenido de <http://www.green-power-nuevaecija.com/>
- Grimaldo, J., Mendoza, M., & Reyes, W. (2017). Modelo para pronosticar la demanda de energía eléctrica utilizando los productos interno brutos setoriales: caso Colombia. *Espacios*, 1, 2, 3.
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climatico. (2011). *Fuentes de energias renovables y mitigacion del cambio climatico*.
- GSE. (6 de Febrero de 2014). *GSE*. Obtenido de <http://www.gse.it/en/easyenergy/Guide/Bioenergy/Pages/default.aspx>
- Guzowski, & Recalde. (2010). Latin American electricity markets and renewable energy sources: The Argentinean and Chilean cases. *International Journal of Hydrogen Energy*.
- Hartmann, & Kaltschmitt. (1999). Electricity generation from solid biomass via co-combustion with coal: Energy and emission balances from a German case study. *Biomass and Bioenergy*.
- Heura Expertos en Medio Ambiente. (23 de Abril de 2012). *Que es la Biomasa*. Obtenido de <https://heuramedioambiente.wordpress.com/2012/04/23/que-es-la-biomasa/>
- Hohenstein, & Wright. (2008). Biomass energy production in the United States: an overview. *Biomass and Bioenergy*.
- Horta, L., & Arnaldo, d. S. (2007). Experiências de geração de energia elétrica a partir de biomassa no Brasil: Aspectos técnicos e econômicos. *FAO*.
- Icarito. (2009). ¿Qué es la energía de la biomasa y en qué región de Chile se utiliza?
- Instituto Tecnológico de Canarias, S.A. (2008). *Energias Renovables y eficiencia energetica*. Canarias.
- Invest In Finland. (02 de Febrero de 2017). [www.investinfinland.fi](http://www.investinfinland.fi). Obtenido de <https://www.investinfinland.fi/-/new-record-for-renewable-energy-production-in-finland>
- IPCENA. (Agosto de 2011). *Nuevas tecnologias para el tratamiento de residuos urbanos*. Obtenido de <http://ipcena.org/ipcena/wp-content/uploads/2016/09/Riesgos-tecnologias-residuos-urbanos%20gasificacion.pdf>
- IPSE. (Julio de 2014). *Ministerio de Minas y Energia*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/742159/09C-SolucionesEnergeticasZNI-IPSE.pdf/2871b35d-eaf7-4787-b778-ee73b18dbc0e>
- IPSE. (2015). *Informe Mensual de Telemetria*. Cartagena: IPSE.
- Javier Mendez, R. C. (2007). *Energia Solar Fotovoltaica*. Madrid: Fundacion Confemetal.
- Jimenez, H. (20 de Marzo de 2016). Crisis Energetica en Colombia es por falta de planeacion. (U. d. Heraldo, Entrevistador)
- Johnny de Jong, C. A. (2017). Forest Ecology and Management. *ELSIVIER*, 2-4.

- Juana, J. D., Santos, F., Crespo, A., Herrero, M. A., Francisco, A. D., & Fernandez, J. (2007). *Energías renovables para el desarrollo*. Madrid: Thomson Ediciones Spain.
- Kingdom of the Netherlands. (marzo de 2017). *www.rvo.nl*. Obtenido de Bioenergy in Thailand:  
<https://www.rvo.nl/sites/default/files/2017/03/FACTSHEET%20BIOENERGY%20IN%20THAILAND.pdf>
- Kozulj, R. (2010). *La Participación de las fuentes renovables en la generación de energía eléctrica: inversiones y estrategias empresariales en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Lazaroiu, Pop, Negreanu, Pisa, Mihaescu, Bondrea, & Berbecu. (2017). Biomass combustion with hydrogen injection for energy applications. *Energy*.
- Líria Costa Rezende-Canal-Jornal da Bioenergia. (15 de 6 de 2018). É preciso diversificar a matriz energética no Brasil. *Canal Jornal Da Bioenergia*.
- Luis Gabriel Carmona, Kai Whiting. (2014). *Pandora y Thanatia, una visión termodinámica del agotamiento de los recursos minerales*. Bogota.
- Machado, C. (2010). *Situación de los Biocombustibles de 2da y 3era Generación en América Latina y Caribe*. Olade.
- Mal, R., Prasad, R., & Kumar, V. (2015). Design and testing of thermoelectric generator embedded clean forced draft biomass cookstove. *IEEE*.
- Mallesham, Govinda, & Reddy. (2016). Production of biofuel additives by esterification and acentalization of bioglycerol. *Compte Rendus Chimie*.
- Martinez, J. (2009). LA HISTORIA CENOZOICA DEL FENÓMENO. *Ciencia de la Tierra*.
- Matsumura, Y., Minowa, T., & Yamamoto, H. (2005). Amount, availability, and potential use of rice straw (agricultural residue) biomass as an energy resource in Japan. *Biomass and Bioenergy*.
- Mayes, F. (31 de Mayo de 2016). Southern US States Lead Growth in Biomass Electricity Generation. *Renewable Energy World*, pág. 1.
- Menezes, Costa, d., Normey-Rico, & Bordons. (2014). Advanced Control for Energy Management of Grind-Connected Hybrid Power Systems in the Sugar Cane Industry. *IFAC*.
- Merino, L. (30 de Julio de 2010). *Fenercom*. Obtenido de <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/cuadernos-energias-renovables-para-todos.pdf>
- Ministerio de Agricultura. (2006). *Anuario Estadístico del Sector Agropecuario*. Bogota.
- Ministerio de Austria. (2016). <http://www.aebiom.org>. Obtenido de Bioenergy in Austria:  
[http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2016/10/Folder\\_Bioenergy\\_in\\_Austria\\_AA-5.pdf](http://www.aebiom.org/wp-content/uploads/2016/10/Folder_Bioenergy_in_Austria_AA-5.pdf)
- Ministerio de Energía de Chile. (2017). *Anuario Estadístico de Energía 2016*. Santiago de Chile.
- Ministerio de Minas e Energía. (2016). *Resenha Energetica Brasileira 2016*. Brasília DF.
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *Atlas del potencial energético de la biomasa residual en Colombia*. Bogota.

- Ministerio de Minas y Energia. (1 de marzo de 2017). Obtenido de <http://es.presidencia.gov.co/normativa/normativa/DECRETO%20348%20DEL%2001%20DE%20MARZO%20DE%202017.pdf>
- Ministerio de Minas y Energia de la Republica de Colombia. (2001). *Resolucion número 032*. Bogota.
- Ministerio de Minas y Energias. (2014). *Atlas del potencial energetico de la Biomasa Residual en Colombia*. Bogota: Colciencias.
- Ministerio de Minas y Energias. (1 de Septiembre de 2014). *Sector Energia Electrica*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/documents/10180/23400/05-ENERGIA2010-2011.pdf/770a198d-d4ee-4687-b74c-74592b403ae6>
- Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs. (4 de Enero de 2016). *Omafra*. Obtenido de [http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/ge\\_bib/biomass.htm](http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/ge_bib/biomass.htm)
- Ministry Of Energy. (2015). <http://weben.dede.go.th>. Obtenido de <http://weben.dede.go.th/webmax/content/biomass-database-potential-thailand>
- Ministry of Energy Thailand. (5 de febrero de 2015). *Thailand Power Development Plan*. Obtenido de <http://www.energyramblings.com/2016/02/05/thailands-electricity-sector/>
- Morales, A. M. (21 de Septiembre de 2004). *Apolo CREG*. Obtenido de <http://apolo.creg.gov.co/publicac.nsf/1aed427ff782911965256751001e9e55/b08732d4679ff4280525785a007a6b4e?OpenDocument>
- Morris, C. (16 de Enero de 2017). Renewable energy production stagnates in Germany in 2016.
- Mosquera, P., & Merino, L. (s.f.). *Empresa y Energias Renovables*. FC Editorial.
- News Soliclima. (27 de Agosto de 2008). La central de biomasa mas grande del mundo ya funciona en Alemania. págs. [https://news.soliclima.com/noticias/biomasa/la-central-de-biomasa-mas-grande-del-mundo-ya-funciona-en-alemania?seccio=control&type=categories&ver\\_pagina=/noticias/biomasa/la-central-de-biomasa-mas-grande-del-mundo-ya-funciona-en-alemania](https://news.soliclima.com/noticias/biomasa/la-central-de-biomasa-mas-grande-del-mundo-ya-funciona-en-alemania?seccio=control&type=categories&ver_pagina=/noticias/biomasa/la-central-de-biomasa-mas-grande-del-mundo-ya-funciona-en-alemania).
- Nogues, F. S. (2010). *Energia de la Biomasa*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Nogues, F., Garcia-Galindo, A., & Rezeu, A. (2010). *Energia de la Biomasa (volumen I)*. Zaragoza: Prensas Universidad de Zaragoza.
- Ochoa, Cabello, Sagastume, Hens, & Vandecasteele. (2010). Residue from Sugarcane Juice Filtration (Filter Cake): Energy Use al the Sugar Factory. *Waste and Biomass Valorization*.
- Passos, F., Miranda, P., Lobo, B., De Aquino, S., & Perez, S. (2017). Anaerobic co-digestion of coffee husks and microalgal biomass after thermal hydrolysis. *Bioresrce Technology*.
- Perez, E. (2008). *COMISIÓN INTERSECTORIAL PARA EL USO RACIONAL Y EFICIENTE DE LA ENERGIA Y FUENTES NO CONVENCIONALES DE ENERGIA - CIURE*. Bogota: IPSE.
- Perez-Rincón, M. (2015). Los Agrocombustibles: ¿Solo canto de sirenas? Analisis de los impactos ambientales y sociales para el caso colombiano. *Univeridad ICESI*.

- Plessis, L. d. (Noviembre de 2015). *Jetro*. Obtenido de [https://www.jetro.go.jp/ext\\_images/\\_Events/ldn/Japan\\_biomass\\_market\\_overview.pdf](https://www.jetro.go.jp/ext_images/_Events/ldn/Japan_biomass_market_overview.pdf)
- Pottmaier, Melo, Sartor, Kuester, Amadio, Fernandes, . . . Alarcon. (2012). The Brazilian energy matrix: From a material science and engineering perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*.
- Poveda, G. (2004). *LA HIDROCLIMATOLOGÍA DE COLOMBIA: UNA SÍNTESIS DESDE LA ESCALA INTER-DECADAL HASTA LA ESCALA DIURNA*. Medellín.
- Prasertsan, S., & Sajjakulnukit, B. (2006). Biomass and biogas energy in Thailand: Potential, opportunity and barriers. *Renewable Energy*.
- Real Academia Española. (27 de Enero de 2018). *rae*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=W9sEaKE>
- Real Academia Española. (27 de Enero de 2018). *rae*. Obtenido de <http://dle.rae.es/?id=5YtOE4H>
- Regensw. (agosto de 2016). *molwwnergy*. Obtenido de <http://www.moleenergy.com/wp-content/uploads/2016/08/Progress-Report-2016.pdf>
- Renovetec. (2013). *Plantas de Biomasa*. Obtenido de <http://www.plantasdebiomasa.net/que-es-la-biomasa.html>
- Republica de Colombia Ministerio de Minas y Energia . (2017). *Decreto número 348* . Bogota.
- Rincon, J., & Silva, E. (2014). *Bioenergia: Fuentes, conversion y sustentabilidad*. Bogota: La Red Iberoamericana de Aprovechamiento de Residuos Orgánicos en Producción de Energía.
- Roca, J. (01 de Noviembre de 2016). *El Periodico de la Energia*. Obtenido de <http://elperiodicodelaenergia.com/las-10-mayores-plantas-de-biomasa-del-mundo/>
- Sagastume, A., Cabello, J., Hens, L., & Vandecasteele. (2016). The Biomass Based Electricity Generation Potential of the Province of Cienfuegos, Cuba. *CrossMark*.
- Salazar, O. , J.L, Badii, M., Gillen, A., & Serrato, O. L. (18 de Abril de 2015). Historia y uso de las energias renovables. San Nicolas de los Garzas, Mexico.
- San Miguel, M. (2015). *Tecnologías para el uso y transformación de biomasa enérgica*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Scottish Government. (2014). <http://www.gov.scot>. Obtenido de <http://www.gov.scot/Topics/Statistics/Browse/Business/Energy/Balance/FlowChart>
- Scottish Government. (5 de diciembre de 2017). <http://www.gov.scot>. Obtenido de <http://www.gov.scot/Topics/Business-Industry/Energy/Energy-sources/19185/17883-1>
- Sebio. (21 de Agosto de 2017). Obtenido de <https://www.svebio.se/en/press/press-releases/from-21-august-sweden-relies-on-bioenergy/>
- Serpa, Ó. G. (3 de Noviembre de 2015). El problema del sector electrico no es por sequia. *El Espectador*.

- Shayan, E., Zare, V., & Mirzaee, I. (2017). Hydrogen production from biomass gasification; a theoretical comparison of using different gasification agents. *Energy Conversion and Management*.
- Sistema de Informacion Ambiental de Colombia. (28 de Julio de 2016). Obtenido de <http://www.siac.gov.co/ninoylna>
- Soimakallio, S., Makinen, T., Ekholm, T., Pahkala, K., Mikkola, H., & Paappanen, T. (2008). Greenhouse gas balances of transportation biofuels, electricity and heat generation in Finland—Dealing with the uncertainties. *Energy Policy*.
- Solventa. (15 de Mayo de 2015). *Agora*. Obtenido de [http://www.agora.ulpgc.es/ficheros/INTRODUCCION\\_RENOVABLES.pdf](http://www.agora.ulpgc.es/ficheros/INTRODUCCION_RENOVABLES.pdf)
- Statistics Finland. (1 de Enero de 2016). *Energy in Finland 2016*. Obtenido de [https://energia.fi/en/energy\\_sector\\_in\\_finland/energy\\_production/electricity\\_generation](https://energia.fi/en/energy_sector_in_finland/energy_production/electricity_generation)
- Steininger, K., & Voraberger, H. (2003). Exploiting the Medium Term Biomass Energy Potentials in Austria: A comparison of costs and Macroeconomic Impact. *Environmental and Resource Economics*.
- Swedish Biomass Solutions. (2016). <http://varmebaronen.org>. Obtenido de <http://varmebaronen.org/sweden-the-worlds-most-renewable-country>
- Trivial Energy and Environmental Information . (10 de Marzo de 2017). *Biomass Energy Resources in the United States*. Obtenido de <https://teeic.indianaffairs.gov/er/biomass/restech/dist/index.htm>
- U.S Department of Energy. (2008). *Federal LAws and Incentives for Biodiesel*.
- U.S Energy Information Administration. (19 de mayo de 2017). [www.eia.gov](http://www.eia.gov). Obtenido de [https://www.eia.gov/energyexplained/?page=us\\_energy\\_home](https://www.eia.gov/energyexplained/?page=us_energy_home)
- U.S. Biomass Energy. (19 de Octubre de 2017). *The Statistics Portal*. Obtenido de <https://www.statista.com/topics/1000/biomass-energy/>
- U.S. Department of Energy. (2018). *Federal Laws and Incentives for Biodiesel*.
- Unidad de Planeacion Minero Energetico. (2012). *Energias renovables: descripcion, tecnologias y usos finales*. Bogota: ICONTEC.
- UPME. (2003). *Energias renovables: descripcion, tecnologias y usos finales*. Bogota: Incontec.
- UPME. (30 de Diciembre de 2010). *UPME*. Obtenido de [http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor\\_files/documents/Noticias/2010/Vol\\_1\\_Plan\\_Desarrollo.pdf](http://www1.upme.gov.co/sites/default/files/ckeditor_files/documents/Noticias/2010/Vol_1_Plan_Desarrollo.pdf)
- UPME. (2014). *Plan Indicativo de expansion de cobertura de energia electrica 2013 - 2017*. Bogota - Colombia: Legis. Obtenido de [http://www.siel.gov.co/Siel/Portals/0/Piec/Libro\\_PIEC.pdf](http://www.siel.gov.co/Siel/Portals/0/Piec/Libro_PIEC.pdf)
- UPME. (2015). *Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energetico 2050*. Bogota.
- UPME. (28 de Enero de 2015). *Plan Energetico Nacional Colombia: Ideario Energetico 2050*. Obtenido de [http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen\\_idearioenergetico2050.pdf](http://www.upme.gov.co/docs/pen/pen_idearioenergetico2050.pdf)
- UPME. (2016). *Plan Indicativo de Expansion de Covertura de Energía Eléctrica*. Bogota.
- Urzuga, O. (2016). *Osoji Solar*. Obtenido de <https://osoji.cl/solar/>

- Valencia, A. C. (2016). *Crisis energetica en Colombia*. Bogota: Tecnologia, investigacion, academia (TIA).
- Vasquez, D. (2015). *Antioquis es el segundo productor agricola*. Medellin.
- Vollebergh, H. (1998). Environmental externalities and social optimality in biomass markets: waste-to-energy in The Netherlands and biofuels in France. *Energy Policy*.
- VTT Technical Research Centre. (28 de Abril de 2016). <http://www.akruralenergy.org>. Obtenido de [http://www.akruralenergy.org/2016/2016\\_REC\\_Finland%27s\\_Experience\\_in\\_Biomass\\_Heat\\_and\\_Power-Dr\\_Jani\\_Lehto.pdf](http://www.akruralenergy.org/2016/2016_REC_Finland%27s_Experience_in_Biomass_Heat_and_Power-Dr_Jani_Lehto.pdf)
- Weiland, P. (2006). Biomass Digestion in Agriculture: A Successful Pathway for the Energy Production and Waste Treatment in Germany. *Engineering in Life Sciences*.
- Wordpress. (5 de Mayo de 2013). *Bgreenproject*. Obtenido de <https://bgreenproject.wordpress.com/2013/05/07/biomasa-conversion-en-energia-y-sistemas-de-aprovechamiento/>
- World nuclear news. (3 de Junio de 2015). Obtenido de <http://www.world-nuclear-news.org/NP-Plan-sets-out-Japans-energy-mix-for-2030-0306154.html>
- Zalaquett, R. A. (11 de Octubre de 2013). ¿El potencial de la biomasa en Chile?: casi el 12% de la energía que hoy se produce. *LA TERCERA*, pág. 17.
- Zhang, B., & Ogden, K. (2017). Recycled wastewater from anaerobic digestion of lipid extracted algae as a source of nutrients. *ScienceDirect*.



## Anexos

*Anexo 1. Información recopilada de las plantas de biomasa en Brasil, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Por ANEEL, Capacidad de Generación de Brasil.*

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est Materia	Capacidad Instalada (MW)
Klabin Celulose	Ortigueira - PR	Licor negro	Forestales	Liquido	330
Suzano Maranhão	Imperatriz - MA	Licor negro	Forestales	Liquido	254,84
CMPC (Antiga Aracruz Unidade Guaíba)	Guaíba - RS	Licor negro	Forestales	Liquido	250,994
Eldorado Brasil	Três Lagoas - MS	Licor negro	Forestales	Liquido	226
Suzano Mucuri (Antiga Bahia Sul)	Mucuri - BA	Licor negro	Forestales	Liquido	214,08
Aracruz	Aracruz - ES	Licor negro	Forestales	Liquido	210,4
Fibria - MS (Antiga VCP - MS)	Três Lagoas - MS	Licor negro	Forestales	Liquido	163,2
Eldorado	Rio Brilhante - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	141,019
Barra Bioenergia	Barra Bonita - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	136
Cocal II	Narandiba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	131,3
Santa Luzia I	Nova Alvorada do Sul - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	130
Caçú I	Caçu - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	130
Amandina	Ivinhema - MS	azúcar	Agrícolas	Solido	120
Veracel	Eunápolis - BA	Licor negro	Forestales	Liquido	117,045
Porto das Águas	Chapadão do Céu - GO	caña de azúcar	Agrícolas	Solido	115
Klabin	Telêmaco Borba - PR	Licor negro	Forestales	Liquido	113,25

Usina Bonfim	Guariba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	111
Conquista do Pontal	Mirante do Paranapanema - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	110
Bahia Pulp (Antiga Bacell)	Camaçari - BA	Licor negro	Forestales	Liquido	108,6
Colombo Ariranha	Ariranha - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	105,5
Jataí	Jataí - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	105
Delta	Delta - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	101,875
Cenibra	Belo Oriente - MG	Licor negro	Forestales	Liquido	100
Vale do Rosário	Morro Agudo - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	97
Angélica	Angélica - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	96
Chapadão Agroenergia	Brejo Alegre - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	92
Mandu LDC Bioenergia	Guaíra - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	90
Rio Brilhante (Antiga Louis Dreyfus Rio Brilhante)	Rio Brilhante - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	90
Moema	Orindiúva - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	89
Santa Juliana	Santa Juliana - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	88
Santa Cruz AB (Antiga Ometto)	Américo Brasiliense - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	86,4

LDC Bioenergia Lagoa da Prata (Antiga Louis Dreyfus Lagoa da Prata)	Lagoa da Prata - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	85
São José	Macatuba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	84,805
São José Colina	Colina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	83
Gasa	Andradina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	82
Ferrari	Pirassununga - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80,5
Quirinópolis	Quirinópolis - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80
Boa Vista	Quirinópolis - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80
Equipav II	Promissão - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80
Tropical Bioenergia	Edéia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80
Pedro Afonso	Pedro Afonso - TO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	80
Unidade de Bioenergia Costa Rica	Costa Rica - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	79,828
Unidade de Bioenergia Água Emendada	Perolândia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	79,828
Caarapó	Caarapó - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	76
Ipaussu Bioenergia	Ipauçu - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	76

Alta Mogiana	São Joaquim da Barra - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	75
Catanduva (Antiga Cerradinho)	Catanduva - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	75
Costa Pinto	Piracicaba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	75
Buriti	Buritizal - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	75
Passa Tempo	Rio Brilhante - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	73,8
São Martinho	Pradópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	73
Unidade de Bioenergia Alto Taquari	Alto Taquari - MT	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	72,7
Unidade de Bioenergia Morro Vermelho	Mineiros - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	72,7
São Luiz	Pirassununga - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70,4
São João da Boa Vista	São João da Boa Vista - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70
USI (Antiga Unidade Santo Inácio - USI)	Santo Inácio - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70
Da Mata	Valparaíso - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70
Da Pedra	Serrana - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70
Brotas	Brotas - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	70

Quatá	Quatá - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	65
Biopav II	Brejo Alegre - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	65
Guarani - Cruz Alta	Olímpia - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	64,8
Iaco Agrícola	Chapadão do Sul - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	64
Usiminas 2	Ipatinga - MG	Horno gas-biomasa	Urbanos	Gas	63,155
Barra Grande de Lençóis	Lençóis Paulista - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	62,9
Fartura	Mendonça - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	62
Vista Alegre	Itapetininga - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Noroeste Paulista	Sebastianópolis do Sul - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Vista Alegre I (Antiga Energética Vista Alegre)	Maracaju - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Rio Pardo	Cerqueira César - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Meridiano	Meridiano - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Paranapanema	Sandovalina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	60
Equipav	Promissão - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	58,4
Santa Elisa - Unidade I	Sertãozinho - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	58

Iacanga	Iacanga - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	57
São Judas Tadeu	Jaíba - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	56
Itumbiara	Itumbiara - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	56
Ituiutaba	Ituiutaba - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	56
Jari Celulose	Almeirim - PA	Licor negro	Forestales	Liquido	55
Guaíra Energética	Guaíra - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	55
Vale do São Simão Bioenergética Vale do Paracatu - BEVAP	Santa Vitória - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	55
	João Pinheiro - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	55
Volta Grande	Conceição das Alagoas - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	54,938
Nardini	Vista Alegre do Alto - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	54
Cevasa	Patrocínio Paulista - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	54
Cerradão	Frutal - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	54
Ripasa	Limeira - SP	Resíduos forestales	Forestales	Solido	53,48
Vertente	Guaraci - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	53
BEN Bioenergia	Teotônio Vilela - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	53

Colorado	Guaíra - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	52,76
Santa Terezinha	Tapejara - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50,5
Rafard	Rafard - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Jalles Machado	Goianésia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Bio Coopcana	São Carlos do Ivaí - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Colombo Santa Albertina	Santa Albertina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Viralcool Castilho	Castilho - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Bio Alvorada	Araporã - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	50
Usaciga	Cidade Gaúcha - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	48,6
São Fernando Açúcar e Álcool	Dourados - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	48
Codora	Goianésia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	48
Itaenga	Lagoa do Itaenga - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	47
Maracaí	Maracaí - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	46,82
Goiasa	Goiatuba - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	46,52

Ester	Cosmópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	46,4
Santa Terezinha	Paranacity - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	46
Paranacity	Novo Horizonte - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	46
Santa Isabel	Uberaba - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	45
Vale do Tijuco	Queiroz - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	45
Clealco Queiroz	Pirassununga - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	45
Baldin	Valparaíso - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	45
Univalem Bioenergia	Campos dos Goytacazes - RJ	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	45
Canabrava	Novo Horizonte - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	44
São José da Estiva	Jaboticabal - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	42,5
Santa Adélia	Sud Mennucci - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	42
Pioneiros	Florestópolis - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	42
UFL	Santa Vitória - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	41,4
Santa Vitória	Araras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40,75
São João					



Potirendaba (Antiga Cerradinho Potirendaba)	Potirendaba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40,2
Baía Formosa	Baía Formosa - RN	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Santo Ângelo	Pirajuba - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Interlagos	Pereira Barreto - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Cachoeira Dourada	Cachoeira Dourada - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Vale do Tijuco II	Uberaba - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Rio Vermelho	Junqueirópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Colombo Ariranha 2	Ariranha - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
Rio Vermelho 2 LDC Bioenergia Leme (Antiga Coinbra - Cresciumal)	Junqueirópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	40
São Martinho Energia	Leme - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	39,6
Alcídia	Pradópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	39,5
Lwarcel (Antiga Lençóis Paulista)	Teodoro Sampaio - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	38,1
Guarani - Tanabi	Lençóis Paulista - SP	Licor negro Bagazo de caña de azúcar	Forestales	Liquido	38
	Tanabi - SP		Agrícolas	Solido	38

Klabin Correia Pinto (Antiga Celucat)	Correia Pinto - SC	Licor negro	Forestales	Liquido	37,882
Itamarati	Nova Olímpia - MT	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	37,5
Petribu	Lagoa do Itaenga - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	36,5
Usina da Pedra	Serrana - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	35
Pioneiros II	Sud Mennucci - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	35
USI BIO	Santo Inácio - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	35
Brotas II	Brotas - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	35
Unidade de Geração de Energia Elétrica - Agrenco - Mato Grosso	Alto Araguaia - MT	Pasto elefante	Forestales	Solido	34
Guarani Tanabi 2	Tanabi - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	34
Paulicéia	Paulicéia - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	33,75
Klabin Otacílio Costa (Antiga Igaras)	Otacílio Costa - SC	Licor negro	Forestales	Liquido	33,745
JB	Vitória de Santo Antão - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	33,2
Ibitiúva bioenergética (Antiga Destilaria Andrade)	Pitangueiras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	33
Decasa	Ibirarema - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	33

Rigesa	Três Barras - SC	Residuos forestales	Forestales	Solido	32,5
Tropical Bioenergia II	Edéia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	32
Bioflex Caeté	São Miguel dos Campos - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30,7
Barralcool	Barra do Bugres - MT	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
UJU	Colorado - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Campo Florido	Campo Florido - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Giasa II	Pedras de Fogo - PB	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Canaã	Paraguaçu Paulista - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Sykué I	São Desidério - BA	Pasto elefante	Forestales	Solido	30
Coruripe		Bagazo de caña de azúcar			
Energética - Filial Campo Florido	Campo Florido - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Noble Energia	Sebastianópolis do Sul - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Noble Energia II	Meridiano - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Enervale	João Pinheiro - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Virálcool 2	Pitangueiras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Guaçu	Aripuanã - MT	Residuos forestales	Forestales	Solido	30

Furlan Avaré	Avaré - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
BambuÍ	BambuÍ - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Vista Alegre II Termoverde	Maracaju - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	30
Caieiras	Caieiras - SP	Biogás-RU	Urbanos	Gas	29,547
Santa Cândida I	Bocaina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	29
Japungu	Santa Rita - PB	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	28,8
Cocal	Paraguaçu Paulista - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	28,2
Ruette	Paraíso - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	28
Lages	Lages - SC	Resíduos forestales	Forestales	Solido	28
Biolins	Lins - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	28
DVPA	Paracatu - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	28
Jitituba Santo Antônio	São Luís do Quitunde - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	27,4
Trapiche	Sirinhaém - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	26
São José	Igarassu - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25,52
São Francisco	Sertãozinho - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25,2

UFA	Presidente Prudente - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25,2
Central Olho D Água	Camutanga - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Pitangueiras	Pitangueiras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Pirapama	Vitória de Santo Antão - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Total	Bambuí - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Ipê (Antiga Ceni)	Nova Independência - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Cabrera	Limeira do Oeste - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Campo Lindo	Nossa Senhora das Dores - SE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	25
Cargill Uberlândia	Uberlândia - MG	Resíduos forestales	Forestales	Solido	25
Nova América	Tarumã - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	24
Coruripe Iturama	Iturama - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	24
CEM (Antiga Camen)	Morrinhos - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	24
Carneirinho	Carneirinho - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	24
Vale do Verdão	Turvelândia - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	23,4
Santo Antônio	Sertãozinho - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	23

## PRÁCTICAS PARA EL USO DE LA BIOMASA

173

São João Biogás	São Paulo - SP	Biogás-RU	Urbanos	Gas	21,56
Marituba	Igreja Nova - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20,5
Santa Teresa	Goiana - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20,2
Viralcool	Pitangueiras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Monções	Monções - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Monteverde	Ponta Porã - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Usina Coruripe Açúcar e Álcool	Iturama - MG	Resíduos forestales	Agrícolas	Solido	20
Floraplac	Paragominas - PA	Bagazo de caña de azúcar	Forestales	Solido	20
Panorama	Itumbiara - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Cambuí	Santa Helena de Goiás - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Floresta	Santo Antônio, da Barra - GO	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	20
Citrovita	Catanduva - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	19,824
Salvador	Salvador - BA	Biogás-RU	Urbanos	Gas	19,73
José Bonifácio	José Bonifácio - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	19
Usiminas	Ipatinga - MG	Horno gas-biomasa	Urbanos	Gas	18,81
Usina Monte Alegre	Monte Belo - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18,5

Vale do Ivaí	São Pedro do Ivaí - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18,4
Destilaria Melhoramentos	Jussara - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18,38
Corona	Guariba - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18
Sinimbu	Jequiá da Praia - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18
N O Bioenergia	Araras - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	18
São José do Pinheiro	Laranjeiras - SE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	17,5
Serra Grande	São José da Laje - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	17,2
Água Bonita	Tarumã - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	17
Estivas	Arês - RN	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	17
ERB Candeias	Candeias - BA	Resíduos forestales	Forestales	Solido	16,79
Usaúcar - Terra Rica	Terra Rica - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16,5
MB	Morro Agudo - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16,4
Frutal	Frutal - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16,092
Usina São Luiz	Ourinhos - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16
Miguel Forte	União da Vitória - PR	Resíduos forestales	Forestales	Solido	16

Zanin	Araraquara - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16
Coruripe	Coruripe - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16
Bioenergética Aroeira	Tupaciguara - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	16
Barra	Barra Bonita - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15,8
Lucélia	Lucélia - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15,7
Nova Moreno	Monte Aprazível - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15,504
Goioerê	Moreira Sales - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15
Triálcool	Canápolis - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15
Usina da Serra	Ibaté - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15
Colombo Palestina	Palestina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15
Costa Bioenergia	Umuarama - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	15
São Manoel	São Manuel - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14,8
Guaxuma	Coruripe - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14,312
Passos	Passos - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14,09



Iracema	Iracemópolis - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14
Agrovale	Juazeiro - BA	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14
Triunfo	Boca da Mata - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	14
São Miguel	São Miguel dos Campos - AL	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	13,2
Cocamar Maringá	Maringá - PR	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	13
Barreiro	Belo Horizonte - MG	Carbón de leña	Forestales	Solido	12,9
Cucaí	Rio Formoso - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	12,6
São Borja	São Borja - RS	Cáscara de arroz	Agrícolas	Solido	12,5
Ecoluz	Guarapuava - PR	Residuos forestales	Forestales	Solido	12,33
São Domingos	Catanduva - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	12
Coopernavi	Naviraí - MS	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	12
Ouroeste	Ouroeste - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	12
Guariroba	Pontes Gestal - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	12
Uberaba	Uberaba - MG	Residuos forestales	Agrícolas	Solido	12
Berneck	Araucária - PR	Bagazo de caña de azúcar	Forestales	Solido	12
Galvani	Paulínia - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	11,5

Granol PO	Porto Nacional - TO	Leña	Forestales	Solido	11,5
Selecta	Araguari - MG	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	11,4
Clealco Clementina	Clementina - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	11,2
Ipojuca	Ipojuca - PE	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	11,2
Alcon	Conceição da Barra - ES	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	11,2
Bazan	Pontal - SP	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	10,2

*Anexo 2. Información recopilada de las plantas de biomasa en Chile, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de SEA Gobierno Chileno y Arauco.*

<b>Planta</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Energético</b>	<b>Clasificado</b>	<b>Est. Materia</b>	<b>Capacidad Instalada (MW)</b>
Empresa Arauco	Las condes, Santiago	Biomasa y recursos forestal	Forestales	Solido	61
Central Térmica Biomasa Agrícola Newenkutral	Yungay	Paja de trigo	Agrícolas	Solido	40
Planta Cogeneración Cartulinas CMPC, Maule	Yerbas Buenas comuna de provincia de linares	Forestal no tratada, carbón en caso necesario	Forestales	Solido	30
Comasa, planta de Lautaro 1	Lautaro	Biomasa forestal	Forestales	Solido	26
Comasa, planta de Lautaro 2	Lautaro	Biomasa forestal	Forestales	Solido	22
planta biomasa linares	provincia de linares	Orujillo	Agrícolas	Solido	15

*Anexo 3.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Estados Unidos, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Covanta, Atlantic Power Corporation, Energy Justice, Biomass Magazine.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Covanta Delaware Valley LP	Chester, PA	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	165
New Hope Power Co.	South Bay, FL	bagazo y madera	Forestales	Solido	128,9
Medford Operation	Medford, OR	residuos de molino	Agrícolas	Solido	118,5
French Island Generating Plant	La Crosse, WI	Combustible derivado de desechos/residuo maderero/Madera de residuo ferrocarriles	Urbanos	Solido	118
Somerset Plant	Skowhegan, ME	Residuo de molino	Forestales	Solido	116,5
Gainesville Renewable Energy Center	Gainesville, FL	residuos de molino, residuos forestales, residuos de madera urbano	Urbanos	Solido	100
Palm Beach Renewable Energy #2	West Palm Beach, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	100
Southern Co. Nacogdoches Generating Facility	Sacul, TX	Residuos forestales/Residuos de procesos de madera/Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	100

Mid-Conn. Resource Recovery Facility City and County of Honolulu	Hartford, CT	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	90
Covanta Honolulu Resource Recovery Venture	Kapolei HI	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	90
Pittsylvania Power Station	Hurt, VA	virutas de árboles enteros	Forestales	Solido	90
Capital Power Corp. CPI USA North Carolina LLC	Southport NC	Residuos de madera y combustible de llantas quemadas	Urbanos	Solido	85
Covanta Hempstead Company	Westbury, NY	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	80
Covanta Fairfax Inc. (I-95 Energy)	Lorton, VA	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	80
Covanta Dade Renewable Energy	Doral, FL	Residuos sólidos municipales/residuo maderero	Urbanos	Solido	77
Pinellas County Resource Recovery Facility	St Petersburg, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	75
Cate Street Capital Burgess BioPower	Berlin NH	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	75
MeadWestvaco Corporation - Covington	Covington, VA	Tala y residuo de fabricación de papel	Forestales	Solido	75

Cheyenne Biogas Power Plant	Cheyenne, WY	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	75
Hibbard Energy Center	Duluth, MN	Celulosa de relleno de colchón/residuo maderero/Trapos sucios de aceite	Urbanos	Solido	72,8
Florida Power Development LLC Brooksville	Brooksville FL	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	70
Wheelabrator North Broward Inc.	Pompano Beach, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	68
Detroit Renewable Energy	Detroit, MI	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	68
Capital Power Corp. Roxboro Facility	Roxboro NC	Madera y Combustible de llantas quemadas	Urbanos	Solido	67,5
Wheelabrator Bridgeport LP	Bridgeport CT	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	67
U.S. EcoGen Clay Generating Facility	Green Cove Springs, FL	Eucalipto Grandis	Forestales	Solido	66
U.S. EcoGen Martin Generating Facility	Indiantown, FL	Eucalipto Grandis	Forestales	Solido	66
U.S. EcoGen Okeechobee LLC	Okeechobee, FL	Eucalipto Grandis	Forestales	Solido	66

U.S. EcoGen Polk Generating Facility	Fort Meade, FL	Residuos madereros/Eucalipto Grandis	Forestales	Solido	66
Wheelabrator South Broward Inc.	Davie, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	66
Covanta Essex Company	Newark, NJ	Residuos solidos	Urbanos	Solido	65
Wheelabrator Baltimore LP	Baltimore, MD	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	64,4
RockTenn - Tacoma	Tacoma, WA	Residuo de molino	Forestales	Solido	64
S D Warren Westbrook	Westbrook, ME	Residuo de molino/Licor negro/combustible derivado de llantas/Madera de construcción y demolición	Urbanos	Solido	62,5
Palm Beach Renewable Energy #1	West Palm Beach, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	62,3
Sappi Cloquet Mill	Cloquet, MN	Residuo de molino	Forestales	Solido	60,7
Piedmont Green Power	Barnesville, GA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	60
ReEnergy Black River	Fort Drum, NY	Biomasa leñosa/combustible derivado de llantas	Urbanos	Solido	60

Joseph C McNeil Generating Station	Burlington, VT	Residuos forestales y de molino. Madera local	Forestales	Solido	60
Wheelabrator Portsmouth	Portsmouth, VA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	60
Wheelabrator Westchester LP	Peekskill, NY	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	59,7
Covanta Delano	Delano, CA	Residuos forestales, cascaras de frutas secas y semillas secas	Forestales	Solido	58
ecoPower - Hazard	Chavies KY	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	58
Covanta Lee Inc.	Ft. Myers, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	57
Nigen, LLC	Niagara Falls, NY	Biomasa leñosa/Madera tratada/Combustible derivado de neumático /coke de petróleo	Urbanos	Solido	56
Covanta Montgomery Inc.	Dickerson, MD	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	55
Kapstone Kraft Paper Corp. - Longview	Longview, WA	Residuo de molino	Forestales	Solido	55
Covanta SEMASS LP	West Wareham, MA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	54



Kettle Falls Generating Station	Kettle Falls, WA	Explotación forestal y residuos de molino	Forestales	Solido	53,4
Wheelabrator Falls Inc.	Morrisville, PA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	53,3
Dillard Complex	Roseburg, OR	Madera	Forestales	Solido	51,5
Dominion Virginia Power Southampton Power Station	Franklin VA	Residuos de madera	Forestales	Solido	51
Altavista Power Station	Altavista, VA	Virutas de árboles enteras	Forestales	Solido	51
Hopewell Power Station	Hopewell, VA	Virutas de árboles enteras	Forestales	Solido	51
United States Sugar Corporation	Clewiston, FL	Bagazo	Agrícolas	Solido	50
Wheelabrator Shasta Energy Co. Inc.	Anderson, CA	Tala y Residuo de molino/residuos agrícolas	Agrícolas	Solido	50
CMS Energy Craven County Wood Energy	New Bern NC	Residuos de molino	Agrícolas	Solido	50
Wheelabrator Ridge Energy Inc.	Auburndale, FL	Combustible Derivado de los desechos madereros- Neumático/ Gas de relleno sanitario	Urbanos	Gas	50

Albany Green Energy	Albany, GA	Residuos forestales, residuos de madera urbano, cascara de maní y pacana	Urbanos	Solido	50
Fibrominn Biomass Power Plant	Benson, MN	Cama de pollo/residuos agrícolas	Animales	Solido	50
Northern Wood Power	Portsmouth, NH	Restos de árboles astillados	Forestales	Solido	50
Rothschild Biomass Cogeneration Plant	Rothschild, WI	Residuo maderero urbano/Residuo de molino	Urbanos	Solido	50
NOVEC Energy Production, Halifax County Biomass (NEPHCB)	South Boston, VA	Explotación forestal	Forestales	Solido	49,9
Covanta Haverhill Inc.	Haverhill, MA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	49
Woodville Renewable Power	Woodville, TX	Residuos de madera	Forestales	Solido	49
ReEnergy Stratton	Stratton, ME	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	48
Greenleaf Power LLC Desert View	Mecca, CA	Residuos agrícolas/ residuo maderero urbanos	Urbanos	Solido	47

Covanta Hillsborough Inc.	Tampa, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	46,5
Hawaiian Commercial & Sugar Puunene Mill	Puunene, HI	Bagazo	Agrícolas	Solido	46,1
Wheelabrator Millbury Inc.	Worcester, MA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	46
DTE Stockton LLC	Stockton CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	45
Mt. Poso Cogeneration Company LLC	Bakersfield, CA	Podas de viñedos y frutales/Cáscaras de frutos secos/Residuos de construcción y demolición	Forestales	Solido	44
Cadillac Renewable Energy	Cadillac, MI	Residuos forestales	Forestales	Solido	44
Covanta Union Inc.	Rahway, NJ	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	44
Aspen Biomass Power Plant	Lufkin, TX	Residuo de molino y explotación forestales/residuo maderero urbano	Forestales	Solido	44
Palmer Renewable Energy	Springfield, MA	pedazos de madera	Forestales	Solido	42

Wheelabrator North Andover Inc.	North Andover, MA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	40
Genesee Power Station LP	Flint, MI	Residuos sólidos urbanos, residuos camas de animales	Urbanos	Solido	40
Covanta Hennepin Energy Resource Co. LP	Minneapolis, MN	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	40
Covanta Onondaga LP	Jamesville, NY	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	40
Biomass One	White City, OR	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	40
Bay Front Power Plant	Ashland, WI	Residuo maderero/Madera de residuo ferrocarriles	Urbanos	Solido	40
ReEnergy Ashland	Ashland, ME	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	39
ReEnergy Livermore Falls	Livermore Falls, ME	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	39
City of Tampa McKay Bay Refuse-to- Energy Facility	Tampa FL	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	38,6
Wheelabrator Saugus Inc.	Saugus, MA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	38
CMS Energy Grayling Generating Station	Grayling MI	Residuos de molino y llantas quemadas	Urbanos	Solido	38

Plainfield Renewable Energy	Plainfield, CT	Residuo de construcción y demolición	Urbanos	Solido	37,5
ReEnergy Fort Fairfield	Fort Fairfield, ME	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	37
St. Paul Cogeneration LLC	St. Paul, MN	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	37
Covanta York Renewable Energy LLC	York, PA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	36,5
City of Long Beach Covanta Long Beach Renewable Energy (The Southeast Resource Recovery Facility)	Long Beach CA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	36
SP Fiber Technologies - Newberg	Newberg, OR	Residuos de tala/Residuos de papel/lodos de fábrica de papel	Forestales	Solido	36
Covanta Lancaster Inc.	Bainbridge, PA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	36
Coastal Carolina Clean Power	Kenansville, NC	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	35

Stone Container Panama City Mill	Panama City, FL	Residuo de papel molido	Forestales	Solido	34
Marquette Green Energy LLC - Gwinn	Gwinn, MI	Combustible derivado de llantas/Madera/resid uos madereros	Urbanos	Solido	34
Elk River Energy Recovery Station	Elk River, MN	residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	33
Covanta Plymouth Renewable Energy Ltd.	Conshohock en, PA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	32
Covanta Pasco Inc.	Spring Hill, FL	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	31,2
Burney Forest Power	Burney, CA	Explotación forestal y residuos de molino	Forestales	Solido	31
Greenleaf Power LLC Honey Lake	Wendel, CA	Residuos de molino y forestales/Residuos madera urbana	Agrícolas	Solido	30
ReEnergy Sterling	Sterling, CT	Biomasa leñosa/combustible derivado de llantas	Urbanos	Solido	30
Covanta Niagara Company	Niagara Falls, NY	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	30

Greenleaf Power LLC Eel River Plant	Scotia, CA	Residuo de molino y forestales	Forestales	Solido	28
Rio Bravo Fresno	Fresno, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	28
Covanta West Enfield	West Enfield, ME	Residuos forestales y molino	Forestales	Solido	28
Sierra Pacific - Burlington	Mount Vernon, WA	Residuo de molino/Residuos forestales	Forestales	Solido	28
Sierra Pacific - Quincy	Quincy, CA	Residuo de molino	Forestales	Solido	27,5
Novo BioPower LLC	Snowflake, AZ	Tala/Residuo de molino	Agrícolas	Solido	27
Wadham Energy LP	Williams, CA	Cascara de arroz	Agrícolas	Solido	26,6
Rapids Energy Center	Grand Rapids, MN	Tala y Residuo de molino	Forestales	Solido	26,5
City of Spokane City of Spokane Waste to Energy Facility	West of Spokane WA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	26
Woodland Biomass Power Ltd.	Woodland, CA	Residuos de madera, sólidos urbanos, cascara secas, residuos de agricultura	Urbanos	Solido	25
Covanta Energy Mendota	Delano, CA	Residuos forestales, cascara de frutas secas y semillas secas	Forestales	Solido	25

Southeast Renewable Fuels LLC - Clewiston	Clewiston, FL	Sorghum dulce	Agrícolas	Solido	25
Penobscot Energy Recovery	Orrington, ME	Residuos sólidos municipales/Biomas a leñosa	Urbanos	Solido	25
Wilmarth Generating Station	Mankato, MN	Combustible derivado de desechos y madera	Urbanos	Solido	25
BlueFire Renewables Fulton LLC - Biomass Power	Fulton, MS	Residuos madereros	Forestales	Solido	25
Covanta Huntington LP	East Northport, NY	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	25
Covanta Jonesboro Power Station	Jonesboro, ME	Explotación forestal y residuos de molino	Forestales	Solido	24,5
Rio Bravo Rocklin	Lincoln, CA	Madera urbana/residuo agrícola/ residuo maderero	Urbanos	Solido	24,4
TBE-Montgomery LLC	Montgomery , NY	Residuos sólidos municipales, residuo maderero de construcción y demolición	Urbanos	Solido	24
Hu Honua Bioenergy Facility	Pepeekeo, HI	Eucalipto/Otra biomasa	Forestales	Solido	24



Covanta Harrisburg Inc.	Harrisburg, PA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	24
Koda Energy LLC	Shakopee MN	Residuos de árboles urbanos, cascara de avena y arroz, tamizaje de malta y cebada	Agrícolas	Solido	23,7
Rio Grande Valley Sugar Growers	Santa Rosa, TX	Bagazo	Agrícolas	Solido	23,5
Escanaba Generating Station	Escanaba, MI	Residuos de madera y llantas	Urbanos	Solido	23
Covanta Alexandria/Arlin gton	Alexandria, VA	Residuos solidos	Urbanos	Solido	23
Covanta Stanislaus Inc.	Crows Landing, CA	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	22,5
Tamworth Power Station	Tamworth, NH	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	22,5
Abengoa Abengoa Bioenergy Biomass of Kansas LLC	Hugoton KS	switchgrass, residuos de maíz y paja	Agrícolas	Solido	22
ReEnergy Lyonsdale	Lyons Falls, NY	Restos de árboles astillados	Forestales	Solido	22
Covanta Camden Energy Recovery Center	Camden, NJ	residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	21
ReEnergy Chateaugay	Chateaugay, NY	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	21

Greenleaf Power LLC Tracy Biomass	Tracy, CA	Residuos madereros/Residuos de huertas	Forestales	Solido	20,5
Ryegate Power Station	East Ryegate VT	Madera	Forestales	Solido	20,5
Sierra Pacific - Loyalton	Loyalton, CA	Residuo de molino	Forestales	Solido	20
Sierra Pacific - Burney	Burney, CA	Residuo de molino/Residuos forestales	Forestales	Solido	20
Savannah River Site Biomass Cogeneration Facility	Aiken, SC	residuos forestales	Forestales	Solido	20
EDF-RE Allendale	Allendale, SC	residuos forestales	Forestales	Solido	20
Fortistar Hillman Power LLC	Hillman, MI	madera y llantas	Urbanos	Solido	20
L'Anse Warden	L'Anse, MI	Residuo de madera	Forestales	Solido	20
Red Wing	Red Wing, MN	Combustible derivado de desechos y madera	Urbanos	Solido	20
Bridgewater Power LP	Plymouth, NH	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	20
Springfield Power LLC	Georges Mills, NH	residuos de madera	Forestales	Solido	20
NPI USA Co-Generation Facility	Port Angeles, WA	Tala y Residuo de molino	Forestales	Solido	20

## PRÁCTICAS PARA EL USO DE LA BIOMASA

194

Pacific Ultrapower Chinese Station	Jamestown, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	19,8
Seneca Sustainable Energy	Eugene, OR	Residuo de molino/Residuos forestales	Forestales	Solido	19,8
Sierra Pacific - Lincoln	Lincoln, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	19,2
DG Whitefield LLC (Biomass Power Plant)	Whitefield, NH	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	19
DG Fairhaven Power	Samoa, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	18,8
Imperial Valley Resource Recovery (Biomass Power Plant)	Imperial, CA	Residuos de madera	Forestales	Solido	18,1
Buena Vista Biomass Power	Ione, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	18
Covanta Pacific Oroville Power	Oroville, CA	Residuos forestales y urbanos	Forestales	Solido	18
Covanta SECONN	Preston, CT	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	18
McBain Power Station	McBain, MI	madera y llantas	Urbanos	Solido	18
Covanta Kent Inc.	Grand Rapids, MI	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	18
Sierra Pacific - Aberdeen	Aberdeen, WA	Residuo de molino/Residuos forestales	Forestales	Solido	18

Fitchburg Power Station	Westminster, MA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	17
Covanta Babylon Inc.	West Babylon, NY	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	17
Covanta WBH LLC	Tulsa, OK	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	17
Covanta Bristol Inc.	Bristol, CT	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	16,5
Bethlehem Power Station	Bethlehem, NH	Residuos d exploración forestal	Forestales	Solido	16,2
Lincoln Power Station	Lincoln MI	Madera tratada con creosota, pentaclorofenol, residuos de madera, llanta	Forestales	Solido	16
Indeck Energy - Alexandria LLC	Alexandria, NH	Residuo maderero	Forestales	Solido	16
Northumberland Cogeneration Facility	Northumberland, PA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	16
Wheelabrator Lisbon Inc.	Lisbon, CT	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	15
Covanta Lake Inc.	Okahumpka, FL	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	15
Wheelabrator Hudson Falls LLC	Hudson Falls, NY	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	15
Collins Pine Company	Kane PA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	15

Telogia Power	Telogia FL	Pedazos de madera, residuos de fábricas, el combustible de cerdo y cáscaras de cacahuete	Forestales	Solido	14
Multitrade Telogia	Bristol, FL	Explotación forestal y Residuo de molino/Combustible de caballeriza/Cascos de cacahuete	Forestales	Solido	14
Ecomaine (Biomass Power Plant)	Portland, ME	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	14
Wheelabrator Gloucester Company LP	Westville, NJ	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	14
Covanta Warren Energy Resource Co. LP	Oxford, NJ	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	14
Wheelabrator Concord Company LP	Concord, NH	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	14
Grays Harbor Paper LP - Powerhouse	Hoquiam, WA	Residuos de papel	Urbanos	Solido	14
Maryland Bio Energy	Federalsburg, MD	Cama de pollos	Animales	Solido	13,4
Akeida Capital Management Ampersand Chowchilla Biomass LLC	Chowchilla CA	Residuos agrícolas	Agrícolas	Solido	13
Covanta Marion Inc.	Brooks, OR	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	13

Agrilectric Power Partners Ltd.	Lake Charles, LA	Residuos solidos	Urbanos	Solido	12,1
Covanta MacArthur Renewable Energy Inc.	Ronkonkom a, NY	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	12
Covanta Mount Lassen Power	CA	Tala de bosques	Forestales	Solido	11,5
Commerce Refuse-to- Energy Facility	Commerce, CA	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	11,5
Eagle Valley Clean Energy	Gypsum, CO	Residuos de reforestación	Forestales	Solido	11,5
Covanta Burney Mountain Power	Burney, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	11,4
Covanta Projects of Wallingford LP	Wallingford, CT	Residuos sólidos urbanos	Urbanos	Solido	11
Merced Power LLC	Merced, CA	Biomasa leñosa	Forestales	Solido	10,5
New Hanover County WASTEC	Wilmington, NC	Residuos sólidos municipales	Urbanos	Solido	10,3

---

*Anexo 4.* Información recopilada de las plantas de biomasa en El Salvador, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Por Grupo Cassa, grupo azucarero salvadoreño.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Ingenio Chaparrastique	San miguel	Bagazo de caña de azúcar y hojas que quedan en el suelo después del corte	Agrícolas	Solido	62,2
Central izalco	Sonsonate	Bagazo de caña de azúcar y hojas que quedan en el suelo después del corte	Agrícolas	Solido	45

*Anexo 5.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Guatemala, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Pantaleón, Ingenio San Diego, Ingenio Magdalena y Grupo Santa Ana.

<b>Planta</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Energético</b>	<b>Clasificado</b>	<b>Est Materia</b>	<b>Capacidad Instalada (MW)</b>
Pantaleón	escuintla	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	315,2
Santa Ana	escuintla	Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	173,897
Ingenio san diego S.A.	san diego	residuos de Bagazo de caña de azúcar	Agrícolas	Solido	118
Ingenio magdalena	Finca Buganvilla	materia prima el bagazo de la caña de azúcar	Agrícolas	Solido	62



*Anexo 6.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Honduras, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Central América Data

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
“La Planta”	Municipio de Choloma, Departamento de Cortés	King grass, pino infectado con gorgojo, raquis de palma africana y bagazo de la caña de azúcar	Agrícolas	Solido	43

*Anexo 7.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Nicaragua, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Nicaragua Sugar y Casur.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Ser San Antonio	Managua	Bagazo caña	Agrícolas	Solido	79,3

*Anexo 8.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Alemania, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Conoscope.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Pekun	Pekun	Sus principales fuentes de energía son el maíz, trigo y estiércol líquido	Agrícola	Solido	20

*Anexo 9.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Austria, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards.

<b>Planta</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Energético</b>	<b>Clasificado</b>	<b>Est. Materia</b>	<b>Capacidad Instalada (MW)</b>
FuderMax GmbH	Fundermax	Madera	Forestales	Solido	10
Bioenergie Steyr GmbH	NOE	Madera	Forestales	Solido	10

*Anexo 10.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Escocia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Biomass Power Station in the United Kingdom.

<b>Planta</b>	<b>Ciudad</b>	<b>Energético</b>	<b>Clasificado</b>	<b>Est. Materia</b>	<b>Capacidad Instalada (MW)</b>
STEVENS CROFT	DG11 2SQ	Papel	Urbano	Solido	44
MARKINCH	FIFE	Papel	Urbano	Solido	65

*Anexo 11.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Filipinas, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido del Departamento de Energía de la Republica de Filipinas.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Malaybalay BioEnergy Corporation Green Innovations for Tomorrow Corporation Grass Gold Renewable Energy Corporation Hawaiian Philippine Company Megawatt Clean Energy, Inc. Manolo Fortich Renewable Energy Corporation Bataan 2020 Inc Montalban Methane Power Coporation Central Azucarera de San Antonio Lamsan Power Corporation Green Future	Malaybalay Talavera Llanera Silay City Himamaylan City Manolo Fortich Samal Rodriguez Passi City Sultan Kudarat San Marino	Multi materia prima Cascara de arroz Napier Grass Bagazo caña de azúcar Multi materia prima Napier Grass cascara de arroz bagazo caña de azúcar Bagazo caña de azúcar Cascara de arroz Bagazo caña de azúcar	Urbano Agrícola Forestales Agrícola Urbano Forestales Agrícola Agrícola	Solido Solido Solido Solido Solido Solido Solido Solido Solido Solido Solido	10 12 12 12 12 12 12,5 14,8 15 15 19



Anexo 12. Información recopilada de las plantas de biomasa en Finlandia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
joensuu power station	Joensuu	Plástico, papel, cartón, madera, turba	Urbano	Solido	50
Hameenkiro	Hameenkiro	Madera, Turba	Urbano	Solido	55
Rauma	Rauma	Restos de Madera	Urbano	Solido	65
Pori	Pori	Madera, Turba	Urbano	Solido	65
Kymin voima	Kouvola	Madera, Turba	Urbano	Solido	76
haapaniemi	Kuopio	Turba	Urbano	Solido	90
Kaukaan Voima	Lapeenranta	Turba, Madera	Urbano	Solido	125
Seinäjoki	Ostrobotnia	Turba, Madera	Urbano	Solido	125
Järvenpää	Järvenpää	Turba	Urbano	Solido	130
wisapower	Ostrobotnia	Lejía negra	Urbano	Liquido	140
Vaasa	Vaasa	Madera	Forestales	Solido	140
haapavesi power station	Haapavesi	Turba	Urbano	Solido	154
Kymijarvi II	Lahti	Plástico, papel, cartón, madera	Urbano	Solido	160
Toppila	Oulu	Turba, madera	Urbano	Solido	210
Alholmenkraft	Alholment	Papel, madera	Urbano	Solido	265

*Anexo 13.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Francia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Ministère de la Transition écologique et solidaire, ERAS Ingénierie, Energie 2007.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada MW
Arance Abbf Powerplant	Arance	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	13
Estrees-mons Biomass Powerplant	Picardie	Astillas de madera	Forestales	Solido	13
Cb Port De Brest Powerplant	Brest	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	14
Commentry Biomass Powerplant	Commentry	trozos de madera	Forestales	Solido	15
Haubourdin Powerplant	Haubourdin	trozos de madera y residuos vegetales	Urbano	Solido	16
Drt/solarezo Powerplant	Vielle-Saint-Girons	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	17
Biomasse Metropole Powerplant	Gennevilliers	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	18
Verdun Biomasse Powerplant	Verdun - Lorraine	trozos de madera	Forestales	Solido	18
Cb Besse Sur Braye Powerplant	Bessé-sur-Braye	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	20
Cb Descartes Powerplant	Descartes	trozos de madera	Forestales	Solido	20
Chapelle Darblay Mill Powerplant	Haute-normandie	Papel recilcado	Urbano	Solido	20
Novillars Powerplant	Novillars	trozos de madera y	Urbano	Solido	20

		residuos vegetales			
Brignoles Biomasse Powerplant	Brignoles	Trozos de madera	Forestales	Solido	22
Cb Champblain Powerplant	Laveyron	trozos de madera	Forestales	Solido	23
Biocean Energies Powerplant	Saint-Junien	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	25
Btl Stracel Powerplant	Strasbourg	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	26
Tavaux Dalkia Powerplant	Tavaux	Reciclaje y Astillas de madera	Urbano	Solido	30
Sete Cogen Powerplant	Strasbourg	trozos de madera	Forestales	Solido	41,03
Chambiere Powerplant	Metz - Lorraine	Astillas de madera	Urbano	Solido	45
Biomasse Alizay Powerplant	Centre	Trozos de madera	Forestales	Solido	50
Rambervillers Egger Powerplant	Rambervillers - Lorraine	Astillas de madera	Forestales	Solido	55
Le Moule Powerplant	Le Moule - Guadeloupe	bagazo / carbón	Urbano	Solido	64
Mimizan Gascogne Powerplant	Mimizan	Astillas de madera	Forestales	Solido	70
Golbey Norske Skog Powerplant	Golbey	Papel reclicado	Urbano	Solido	90
Chalon-sur- saone Powerplant	Chalon-sur- Saône - Bourgogne	Gas Natural	Forestales	Gas	94,4
Le Gol Powerplant	Saint-Louis	Bagazo caña	Agricola	Solido	122
La Factice Dalkia Powerplant	Biganos	Corteza, aserrín, residuos forestales	Forestales	Solido	124

Centrale Biomasse de PROVENCE	Meyreuil	trozos de madera y residuos vegetales	Forestales	Solido	150
Meyreuil Biomass Powerplant	Meyreuil	Astillas de madera	Forestales	Solido	150
Vaulx-en-velin Powerplant	Vaulx-en-Velin	trozos de madera	Forestales	Solido	153
INOVA VAR BIOMASSE	Brignoles	Trozos de madera	Forestales	Solido	19
Alizay Mill Powerplant	Alizay	trozos de madera	Forestales	Solido	21

---



*Anexo 14.* Información recopilada de las plantas de biomasa en Inglaterra, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Biomass Power Station in the United Kingdom.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada MW
DICT	Oxfordshire	Residuos organicos	Urbano	Solido	30
Blackburn Meadows	Tinsley, Sheffield, West Yorkshire	Deseños organicos de elefantes	Animal	Solido	30
ELIDE BUSINES PARK	CB6 2QE	Paja	Forestales	Solido	38
SLEAFORD	NG34 9GH	Paja	Urbano	Solido	40
BRIGG	LINCOLNSHIRE	Paja	Urbano	Solido	40
SAICA	M314QN	Papel	Urbano	Solido	41,6
TILBURY	MUELLES DE TILBURY ESSEX	Virutas de madera	Urbano	Solido	60
Ironbridge	SevernGorge	pellets de madera	Urbano	Solido	740
Campo de Aviacion de los ojos	DISS, SUFFOLK	Desechos de pollos, plumas	Animal	Solido	12,7
GRANFORD	FLIXBOROUGH	Desechos de pollos, plumas	Animal	Solido	13,5
WILTON ELY	TEESSIDE ELY	Madera	Forestales	Solido	35
		Madera	Forestales	Solido	38
THERFORD	Norfolk	Desechos de pollos, plumas	Animal	Solido	38,5

Anexo 15. Información recopilada de las plantas de biomasa en Japón, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards, Asia Biomass Office, SFC Japon.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada MW
Iwakuni	Yamaguchi	Madera	Forestales	Solido	10
Hachinohe Biomass Power Generation	Hachinohe, Aomori	Cascara de palma de almendras, desechos forestales	Forestales	Solido	12
Corporation Noda BioPower JP	Kunohe Prefectura de Iwate pueblo Noda	Astillas de madera, desechos forestales, cáscara de semillas de palma	Forestales	Solido	14
Kawasaki Biomass Power Generation	Kawasaki, Prefectura de Kanagawa	Residuos de construcción, pallets de madera, ramas, etc	Urbano	Solido	49
Keihin central de biomasa	Kanagawa	Pellets de madera, cáscaras de palma	Forestales	Solido	49
Mombetsu Biomass Power Generation	Ciudad de Mombetsu, Hokkaido	Cascara de palma de almendras, desechos forestales	Forestales	Solido	50
Wood Biomass Power Plant	Sakata, Prefectura de Yamagata	Virutas de madera japones, pallets de madera importados,	Urbano	Solido	50
Handa Biomass Power Plant	Handa, prefectura de Aichi	Desechos domesticos, virutas de madera.	Urbano	Solido	75
Miyazaki Biomasa	Miyazaki	Desechos animales,	Animal	Solido	11,3

Agatsuma Bio Power Co Ltd	Gunma	plumas de pollos Madera	Forestales	Solido	13,6
Matsusaka	Mie	Madera	Forestales	Solido	4,4

---

Anexo 16. Información recopilada de las plantas de biomasa en Suecia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenido de Indust Cards, Fortum.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Norra Strandgatan	Kalmar	Madera	Forestales	Solido	17
Vallviks Bruk	Gävleborg	Madera	Forestales	Solido	28
Örtofta	Skane	Madera y residuos de esta	Forestales	Solido	39
Ryaverket	Västergötland	Madera - Desperdicios	Urbano	Solido	45
Torsvik WTE	Jönköping	Desperdicios	Urbano	Solido	85
Saverstaverket	Gävleborg	residuos	Urbano	Solido	97
Sandviksverket	Kronoberg	Madera - materia vegetal descompuesta	Forestales	Solido	105
Riskulla KVV	Västergötland	Madera	Forestales	Solido	114
Vartaverket-III	Stockholm	Madera	Forestales	Solido	130
Högdalen CHP	Stockholm	astillas de madera - residuos de la industria tratada	Urbano	Solido	197
Vasthamnsverket	Skane	Madera	Forestales	Solido	207
Hässelby CHP	Sigtuna	Astillas de madera - biocombustibles	Urbano	Solido	213
Brista CHP	Märsta	Astilla madera y residuos	Urbano	Solido	293
Värtaverket CHP	Stockholm	Carbón - Biocombustibles	Urbano	Solido	526

Anexo 17. Información recopilada de las plantas de biomasa en Tailandia, energético utilizado, clasificación y capacidad instalada. Obtenida de Indust Cards.

Planta	Ciudad	Energético	Clasificado	Est. Materia	Capacidad Instalada (MW)
Bang Mun Nak	Pichit	Cascarilla de Arroz	Agrícola	Solido	22
NPP5A	Prachin Buri	Madera, Biomasa	Forestales	Solido	100
NPP9	Prachin Buri	Madera, Biomasa	Forestales	Solido	150